



**PENGARUH PENAMBAHAN KITOSAN TERHADAP EFEKTIVITAS
PROSES KOAGULASI MENGGUNAKAN BESI(III) KLORIDA
HEKSAHIDRAT**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

Belda Amelia Junisu

NIM. 125061100111030

Evi Handayani

NIM. 125061100111004

Universitas Brawijaya

Fakultas Teknik

Malang

2016

**LEMBAR PENGESAHAN****PENGARUH PENAMBAHAN KITOSAN TERHADAP EFEKTIVITAS PROSES
KOAGULASI MENGGUNAKAN BESI(III) KLORIDA HEKSAHIDRAT****SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

BELDA AMELIA JUNISU

NIM. 125061100111030

EVY HANDAYANI

NIM. 125061100111004

Skrripsi ini telah diperiksa dan disetujui pada tanggal

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Dosen Pembimbing I

Ir. Bambang Poerwadi, MS

NIP. 19600126 198603 1 001

Ir. Bambang Ismuyanto, MS

NIP. 19600504 198603 1 003



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran saya dari berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 22 Agustus 2016
Mahasiswa,

Belda Amelia Junisu
125061100111030



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran saya dari berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 22 Agustus 2016
Mahasiswa,

Evi Handayani
125061100111004



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami selaku penulis panjatkan kepada Allah SWT atas karunia, ridho, serta izin-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Skripsi dengan judul “PENGARUH PENAMBAHAN KITOSAN TERHADAP EFEKTIVITAS PROSES KOAGULASI MENGGUNAKAN BESI(III) KLORIDA HEKSAHIDRAT” dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dorongan dari semua pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih atas segala bimbingan dan bantuan kepada:

1. Ir. Bambang Poerwadi, MS. Selaku Ketua Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Ir. Bambang Ismuyanto, MS. Selaku Dosen Pembimbing I mata kuliah Skripsi Rekayasa Lingkungan Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
3. A.S. Dwi Saptati N.H., ST., MT. Selaku Dosen Pembimbing II mata kuliah Skripsi Rekayasa Lingkungan Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
4. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah memberikan ilmu bermanfaatnya kepada kami
5. Seluruh staf Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya serta semua pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini.
6. Orang tua, saudara-saudara kami, atas bantuan doa, bimbingan, perhatian, serta kasih sayang yang tercurah kepada kami selama ini.
7. Teman-teman Teknik Kimia angkatan 2012 yang selalu mendukung dan menyemangati kami.

Penulis mengharapkan saran dari semua pihak demi kebaikan penelitian ini. Demikian laporan tugas akhir ini dibuat, semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak dan penulis sendiri. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Malang, 22 Agustus 2016

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Air Gambut.....	5
2.1.1 Karakteristik Air Gambut.....	6
2.1.2 Bagian-bagian dari Senyawa Humus.....	8
2.1.2.1 Asam Humat.....	8
2.1.2.2 Asam Fulvat.....	13
2.1.2.3 Humin.....	14
2.2 Proses Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi.....	15
2.2.1 Koagulasi.....	15
2.2.1.1 Mekanisme Koagulasi.....	17
2.2.1.2 Koagulan Utama ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).....	21
2.2.1.3 Koagulan Pendukung (Kitosan).....	25
2.2.1.4 Faktor yang Mempengaruhi Koagulasi.....	27
2.2.2 Flokulasi.....	29
2.2.3 Sedimentasi.....	30
2.3 Metode <i>Jar Test</i>	31
2.4 Penelitian Sebelumnya.....	32



BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Metode Penelitian.....	35
3.2 Tempat Penelitian.....	35
3.3 Variabel Penelitian.....	35
3.3.1 Variabel Tetap.....	35
3.3.2 Variabel Bebas.....	35
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	37
3.4.1 Alat Penelitian.....	37
3.4.2 Bahan Penelitian.....	37
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	37
3.5.1 Persiapan Sampel.....	38
3.5.2 Persiapan Koagulan.....	38
3.5.3 Proses Koagulasi.....	39
3.5.4 Analisa.....	40
3.5.4.1 Pengukuran Derajat Keasaman (pH).....	40
3.5.4.2 Pengukuran Absorbansi Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis.....	41
3.5.4.3 Pengukuran Kekeruhan Menggunakan Turbidimeter.....	41
3.5.4.4 Analisa FT-IR.....	42
3.5.4.5 Analisa Warna.....	42
3.5.4.6 Analisa BNT (Beda Nyata Terkecil).....	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Karakterisasi FT-IR (<i>Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy</i>).....	45
4.1.1 Analisa FT-IR Asam Humat.....	45
4.1.2 Analisa FT-IR Kitosan.....	47
4.2 Pengaruh pH dan Dosis Koagulan menggunakan Koagulan FeCl ₃ .6H ₂ O.....	49
4.3 Pengaruh Penambahan Kitosan pada Efektivitas Koagulasi.....	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	57

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1a	Hasil uji coba air gambut di Sungai Batara Desa Teluk Serdang, Provinsi Jambi	7
Tabel 2.1b	Karakteristik air gambut dari berbagai lokasi di Sumatera dan Kalimantan	7
Tabel 2.2	Judul penelitian-penelitian sebelumnya	32
Tabel 3.1	Penentuan pH dan Konsentrasi Optimum $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	36
Tabel 3.2	Variasi Konsentrasi Kitosan sebagai Koagulan Pendukung	36
Tabel 3.3	Spesifikasi Spesifikasi pHmeter Schott® handylab pH 11	41
Tabel 3.4	Toleransi Pengukuran Larutan Standar Turbidimeter	42
Tabel 4.1	Gugus-gugus Aktif yang Terdapat pada Kitosan	48
Tabel 4.2	Perbandingan Hasil Air Olahan dengan Standar Baku Mutu ...	56



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Proses pembentukan gambut di daerah cekungan lahan basah.	6
Gambar 2.2	(a) Tanah gambut; (b) <i>Afisol</i> ; (c) <i>Mollisol</i>	9
Gambar 2.3	Struktur asam humat menurut Fuch	11
Gambar 2.4	Struktur asam humat oleh Dragunov	11
Gambar 2.5	Struktur asam humat menurut Flaig	12
Gambar 2.6	Struktur hipotetik oleh Stevenson	12
Gambar 2.7	Struktur asam fulvat oleh Schnitzer dan Khan	14
Gambar 2.8	Struktur asam fulvat oleh Buffle	14
Gambar 2.9	Diagram Proses Pengolahan Air Gambut	15
Gambar 2.10	Proses pembentukan muatan negatif melalui pergantian <i>isomorphous</i> Al-Si	16
Gambar 2.11	Skema lapisan ganda jenis <i>Stern</i> pada permukaan partikel	17
Gambar 2.12	Skema jembatan partikel oleh koagulan berupa polimer	20
Gambar 2.13	Struktur $FeCl_3 \cdot 6H_2O$	22
Gambar 2.14	Tahap-tahap hidrolisis besi (III)	23
Gambar 2.15	Grafik kelarutan Fe (III) pada rentang pH tertentu	23
Gambar 2.16	Konversi kitin (a) menjadi kitosan (b)	26
Gambar 2.17	Grafik konsentrasi koloid dengan dosis koagulan	28
Gambar 2.18	Zona-zona pada proses sedimentasi	30
Gambar 2.19	Alat <i>Jar Test</i>	32
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	37



Gambar 3.2	Diagram Alir Persiapan Sampel	38
Gambar 3.3	Diagram Alir Persiapan Koagulan (a) Koagulan utama ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); (b) Koagulan pendukung (kitosan)	39
Gambar 3.4	Diagram Alir Proses Koagulasi untuk Mencari pH dan Konsentrasi Optimum Koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	39
Gambar 3.5	Diagram Alir Koagulasi menggunakan Koagulan Pendukung (Kitosan)	40
Gambar 4.1	Spektra FT-IR Asam Humat	45
Gambar 4.2	Spektra FT-IR dari Kitosan	47
Gambar 4.3	Tahap-tahap Hidrolisis Besi (III)	50
Gambar 4.4	Grafik Penurunan Warna dengan Variasi pH dan Dosis Koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	51
Gambar 4.5	Grafik Penurunan Kekeruhan dengan Variasi pH dan Dosis Koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	51
Gambar 4.6	Lapisan <i>Stern</i> pada Larutan dengan Kekuatan Ion yang Tinggi	52
Gambar 4.7	Pengaruh Penambahan Kitosan terhadap (a) Penurunan Intensitas Warna; (b) Penurunan Kekeruhan	54
Gambar 4.8	Aglomerasi pada Koagulasi dengan Koagulan Garam Logam dan Koagulan Polimer Pendukung	55



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Hasil Pengujian Asam Humat dan Kitosan	65
Lampiran 2	Perhitungan dan Data	69
Lampiran 3	Dokumentasi Penelitian	81
Lampiran 4	Riwayat Hidup	85



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Konsentrasi	Mol per liter atau Molaritas	M
Keasaman	pH	pH
-	Derajat Deasetilasi	DD
Volume	Mililiter atau mL	V
-	Absorbansi	A
Kecepatan	Rpm	V
Massa	Gram (gr) atau miligram (mg)	m
Waktu	Menit atau jam	t
Panjang	Nanometer, Milimeter, centimeter	l



RINGKASAN

Belda Amelia Junisu dan Evi Handayani, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2016, *Pengaruh Penambahan Kitosan Terhadap Efektivitas Proses Koagulasi Menggunakan Besi(III) Klorida Heksahidrat*, Dosen Pembimbing: Bambang Ismuyanto dan A.S Dwi Saptati N.H.

Air gambut merupakan sumber air potensial yang dapat digunakan sebagai air bersih jika diolah terlebih dahulu. Salah satu proses pengolahan yang dapat digunakan adalah dengan metode koagulasi. Penambahan senyawa kimia seperti koagulan perlu dilakukan agar terjadinya proses koagulasi. Salah satu koagulan yang sering digunakan adalah Besi (III) Klorida ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Untuk meningkatkan hasil koagulasi perlu ditambahkan sebuah koagulan pendukung. Mekanisme dari koagulan pendukung ini adalah dengan membentuk jembatan antar partikel koloid, flok, maupun presipitat yang telah terbentuk sehingga prosentase penghilangannya dapat meningkat. Salah satu jenis koagulan polimer organik yang ramah lingkungan dan biodegradable adalah kitosan. Dalam proses koagulasi, hal yang dapat memengaruhi hasil koagulasi adalah kondisi pH dan konsentrasi koagulannya. Penentuan kondisi optimum koagulasi dilakukan dengan variasi pH (6, 7, 8, dan 9) dan konsentrasi koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20, 40, 60, 80, dan 100 ppm). Sedangkan untuk mengetahui pengaruh kitosan dilakukan koagulasi dengan variasi konsentrasi kitosan (10, 20, 30, 40 dan 50 ppm). Proses koagulasi dilakukan dengan cara Jar dan dianalisa menggunakan analisa warna secara spektroskopi dan kekeruhan.

Proses koagulasi dengan penambahan kitosan semakin memberikan hasil yang lebih maksimal jika dibandingkan dengan tanpa adanya kitosan yang ditunjukkan dengan prosentase penurunan warna dan kekeruhan. Pada penentuan pH dan konsentrasi koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, diperoleh nilai pH optimum adalah pH 7 dan konsentrasi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebesar 80 ppm dengan penurunan warna sebesar 88,08% dan kekeruhan sebesar 97,08%. Sedangkan dengan adanya penambahan kitosan, semakin tinggi dosis kitosan yang ditambahkan semakin meningkat pula prosentase penurunan warna dan kekeruhan, yakni 94,75% dan 99,07%.

Kata Kunci : Asam humat, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, kitosan, koagulasi



SUMMARY

Belda Amelia Junisu dan Evi Handayani, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, August 2016, *The Effects of The Addition of Chitosan to The Effectiveness of Coagulation Process Using Iron (III) Chloride*

Peat water is a potential water source that can be used as clean water if processed first. One of the treatment process used is coagulation. The addition of chemical compounds in the form of a metal salt is necessary so that the coagulation can occur. One commonly used coagulant is Ferric Chloride ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). To maximize the coagulation performances, there is one substance called coagulant aids such as organic polymer like chitosan. Coagulant aids increase the effectivity of coagulation process by forming bridge on particle, floc, or precipitate so that the removal is increased too. Chitosan is used in conjunction with Ferric Chloride because chitosan is biodegradable, not through hydrolysis process, and has a long polymer chain. In addition, as coagulant aid, doses of chitosan used is smaller than the main coagulant. In coagulation process, pH and coagulant condition need to be considered. The Determination of the optimum condition coagulation do with variations in pH (6, 7, 8, and 9) and ferric chloride doses (20, 40, 60, 80, and 100 ppm). Synthetic humic acid solution is prepared and coagulated in accordance with predefined variables using a stirrer speed (jar test). To determine the effect of chitosan in coagulation, doses of chitosan (10, 20, 30, 40, and 50 ppm) is used and then begin the analysis of its color by spectroscopic method and turbidity.

Coagulation process showed maximum result with the combination of chitosan as coagulant aid. Color and turbidity analysis showed that optimum pH value is at pH 7 and $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dose of 80 ppm with a reduction of color and turbidity of 88.08% and 97.08% respectively. Meanwhile, with the addition of chitosan, the higher the dose of chitosan that is added, also increase the percentage reduction in the color and turbidity, which is 94.75% and 99.067% repectively.

Keywords: Humic acid, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, chitosan, coagulation



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air di wilayah gambut merupakan sumber air baku yang potensial untuk diolah menjadi air bersih. Secara kuantitatif air gambut merupakan salah satu sumber air yang memadai, tetapi dari segi kualitas masih banyak mengalami kendala. Hal ini disebabkan tingginya konsentrasi zat-zat organik yang terkandung di dalamnya terutama asam humus antara lain asam humat, asam fulvat dan humin (Tan, 2003:31). Pada dasarnya, air gambut adalah air permukaan yang banyak terdapat di daerah rawa atau dataran rendah yang mempunyai ciri-ciri umum yaitu intensitas warna yang tinggi (kuning atau merah kecoklatan), pH rendah antara 2-5, rasanya masam, kandungan zat organik yang tinggi, serta rendahnya konsentrasi partikel dan kation (Kusnaedi, 2006:11). Agus (2008:1) melaporkan bahwa sampai tahun 2008 sumber daya lahan gambut di Indonesia mencakup luas 21 juta hektar yang tersebar di pulau Sumatera, Kalimantan dan sisanya tersebar di Papua dan pulau-pulau lainnya. Lahan gambut di Indonesia menempati posisi ke-4 terluas di dunia setelah Kanada, Rusia, dan Amerika Serikat (Tjahjono, 2007).

Komposisi zat organik pada air gambut didominasi oleh senyawa humat yang memiliki ikatan aromatik kompleks yang memiliki gugus fungsional seperti $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ fenolat maupun $-\text{OH}$ alkohol dan bersifat *nonbiodegradable*. Sifat ini juga menyebabkan sebagian besar organik pada air gambut sulit terurai secara alamiah (Zouboulis, 2004:35). Senyawa humat merupakan koloid yang bersifat hidrofilik di dalam air yang bermuatan negatif (Duursma, 1981:109). Menurut Buku Panduan Air dan Sanitasi yang diterbitkan oleh PD II LIPI Jakarta (1991), menyebutkan bahwa pada prinsipnya air gambut dapat dijernihkan dengan menambahkan zat koagulan ke dalamnya.

Pada penelitian ini digunakan larutan asam humat sintetik karena menurut Świdarska-Bróz (1992) pada Libecki (2008) asam humat berinteraksi lebih kuat dengan ion Fe^{3+} . Selain itu menurut Zouboulis (2004:35), asam humat merupakan penyebab munculnya warna pada perairan alami seperti perairan gambut. Selain itu, asam humat merupakan partikel-partikel koloid sehingga salah satu metode penghilangannya adalah dengan koagulasi (Kusnaedi, 2006:11).



2

Metal salts terhidrolisis, seperti aluminium dan besi merupakan koagulan utama yang sering dan banyak digunakan untuk membentuk agregat. Pada proses koagulasi menggunakan koagulan garam logam, beberapa hal yang perlu diperhitungkan adalah dosis koagulan, pH larutan dan intensitas pengadukan (Wei Ching *et al.*, 1993:559). Aluminium sulfat (alum), besi sulfat, besi klorida, dan besi kloro-sulfat merupakan koagulan yang umum digunakan. Namun, kelemahan dari koagulan berbasis aluminium adalah adanya keterkaitan dengan penyakit Alzheimer (Abu Hassan *et al.*, 2009:44). Selain itu, *sludge* yang dihasilkan oleh koagulan berbasis aluminium sangat sulit untuk diolah karena memiliki beberapa sifat yang tidak lazim (Nunsubuga *et al.*, 2013:146). Menurut Świdarska-Bróz (1992) pada Libeck (2008:399) asam humat berikatan lebih kuat dengan ion Fe^{3+} dibandingkan dengan Al^{3+} . Oleh karena itu penelitian kali ini menggunakan koagulan berbasis besi yaitu Besi (III) klorida ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$).

Menurut (Hammer, 1996), diperlukan koagulan dengan dosis 10-20 kali lebih besar untuk dapat mengendapkan koloid hidrofilik pada senyawa humat. Akan tetapi, penggunaan koagulan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dengan dosis yang besar akan memicu terjadinya restabilisasi partikel sehingga koagulasi tidak berjalan efektif. Menurut Borovickova (2005), selain koagulan aluminium dan besi digunakan sebagai koagulan utama, koagulan organik polielektrolit juga digunakan untuk dikombinasikan dengan koagulan organik. Salah satu contoh koagulan organik adalah kitosan. Kitosan digunakan karena dapat menghasilkan flok yang lebih besar dan padat sehingga mudah untuk dipisahkan. Selain itu, dosis kitosan yang digunakan kecil karena bersifat sebagai koagulan pendukung (Hesami *et al.*, 2013:47).

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Bina *et al.* (2009:247) yang mendapatkan hasil bahwa penggunaan kitosan sebagai koagulan pendukung dapat meningkatkan efektivitas koagulasi dengan koagulan alum dari 74,3% menjadi 98,2%. Selain itu, Hesami *et al.* (2013:46) juga melakukan penelitian dengan menggunakan koagulan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ sebagai koagulan utama dan kitosan sebagai koagulan pendukung. Efisiensi koagulasi dari penelitian tersebut adalah sebesar 95%. Menurut Ramli (2015:1163), penggunaan kitosan sebagai koagulan utama hanya menghasilkan efektivitas koagulasi sebesar 23,52% untuk penghilangan kekeruhan, dan 14,67% untuk penghilangan warna. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan kombinasi koagulan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan kitosan untuk menurunkan intensitas warna dan kekeruhan dari sampel limbah secara efektif sesuai dengan kegunaan koagulasi yang tercantum dalam SNI 19-6449-2000 tentang Metode Pengujian Koagulasi-Flokulasi dengan Cara Jar. Fokus penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh koagulan



pendukung berupa kitosan dalam efektivitas proses koagulasi larutan asam humat sintetik dengan koagulan utama $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh penambahan koagulan tambahan (kitosan) terhadap efektivitas koagulasi menggunakan koagulan utama $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$?

1.3 Batasan Masalah

1. Sampel yang digunakan adalah larutan asam humat sebagai salah satu komposisi yang ada pada air gambut.
2. Koagulan yang digunakan adalah besi (III) klorida heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) p.a dan kitosan
3. Proses koagulasi menggunakan alat *jar test*

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kitosan sebagai koagulan tambahan terhadap efektivitas proses koagulasi menggunakan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai koagulan utamanya.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan alternatif pada proses koagulasi yaitu menggunakan kombinasi koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – kitosan.
2. Memberikan alternatif pengolahan air gambut menjadi air bersih dengan metode yang lebih ramah lingkungan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

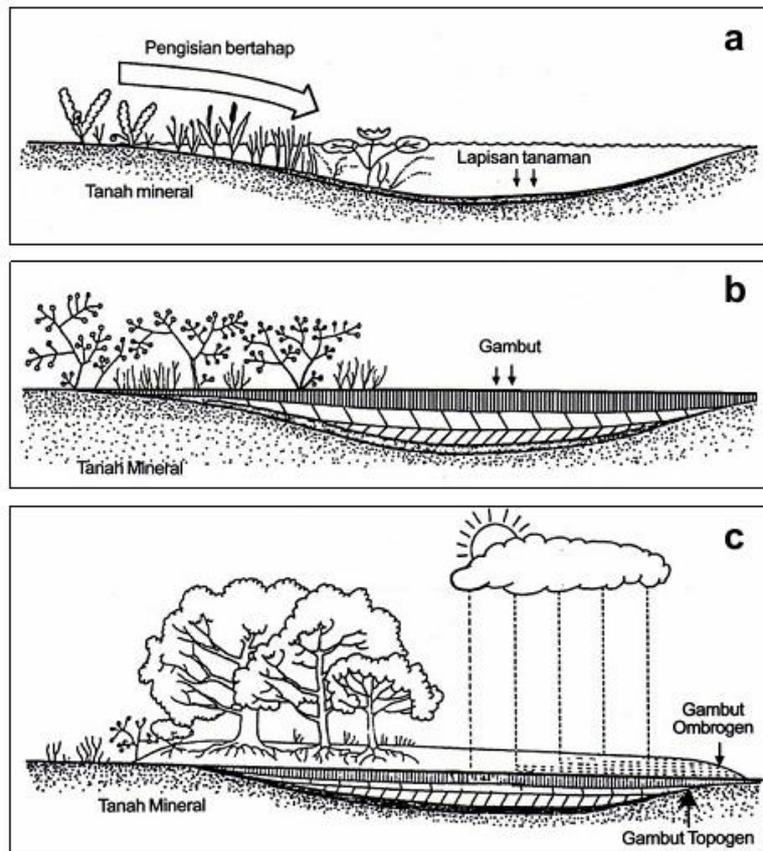
2.1 Air Gambut

Air gambut adalah air yang terdapat pada daerah rawa yang dangkal di daerah Sumatera dan Kalimantan. Pada umumnya, air gambut berwarna sangat coklat dan bersifat asam. Warna coklat air gambut berasal dari zat-zat humus yang terdapat pada tanah dan gambut, yang merupakan zat polimer yang mengandung gugus asam karboksil dan gugus fenol (Puslitbang Sumber Daya Air, 1995).

Gambut terbentuk dari timbunan sisa-sisa tanaman yang telah mati, baik yang sudah lapuk maupun belum lapuk. Timbunan terus bertambah karena proses dekomposisi terhambat oleh kondisi anaerob dan/atau kondisi lingkungan lainnya yang menyebabkan rendahnya tingkat perkembangan biota pengurai. Pembentukan gambut memerlukan waktu yang sangat panjang yaitu dengan kecepatan tumbuh antara 0-3 mm/tahun. Di Barambai Delta Pulau Petak, Kalimantan Selatan laju pertumbuhan gambut sekitar 0,05 mm/tahun, sedangkan di Pontianak sekitar 0,13 mm/tahun (Agus, 2008:3).

Proses pembuatan gambut dimulai dari pertumbuhan tanaman air dan vegetasi pada danau dangkal. Tanaman yang mati dan melapuk secara bertahap membentuk lapisan yang kemudian menjadi lapisan transisi antara lapisan gambut dengan lapisan di bawahnya (lapisan substratum) berupa tanah mineral. Tanaman berikutnya tumbuh pada bagian yang lebih tengah dari danau dangkal ini dan membentuk lapisan-lapisan gambut sehingga danau tersebut menjadi penuh. Proses tersebut ditunjukkan pada gambar 2.1a dan 2.1b. Bagian gambut yang mengisi danau disebut dengan gambut topogen karena proses pembentukannya disebabkan oleh topografi daerah cekungan. Gambut ini bersifat eutrofik (subur) karena adanya pengaruh tanah mineral (Agus, 2008:4).

Hasil pelapukan tanaman pada gambut topogen akan membentuk lapisan baru yang lama-kelamaan membentuk kubah yang permukaannya cembung (Gambar 2.1c). Gambut yang tumbuh diatas gambut topogen disebut dengan gambut ombrogen, yang pembentukannya ditentukan oleh air hujan. Gambut ombrogen lebih rendah kesuburannya dibandingkan dengan gambut topogen karena hampir tidak ada pengkayaan mineral di dalamnya (Agus, 2008:4).



Gambar 2.1. Proses pembentukan gambut di daerah cekungan lahan basah:

- (a) Pengisian danau dangkal oleh vegetasi lahan basah; (b) Pembentukan gambut topogen; (c) Pembentukan gambut ombrogen di atas gambut topogen

Sumber : Agus, (2008:5) mengutip van de Meene, 1982

2.1.1 Karakteristik Air Gambut

Karakteristik utama air gambut adalah memiliki intensitas warna yang tinggi (merah kecoklatan), pH rendah (3,7 – 4,3), kandungan zat organik tinggi (38 – 280 mg/L) dan memiliki tingkat kekeruhan serta kandungan partikel tersuspensi yang rendah (Puslitbang Sumber Daya Air, 1995:1). Warna coklat kemerahan pada air gambut merupakan akibat dari tingginya kandungan zat organik (bahan humus) terlarut dalam bentuk asam humus/humat dan turunannya. Asam humat tersebut berasal dari dekomposisi bahan organik seperti daun, pohon, atau kayu dengan berbagai tingkat dekomposisi (Syarfi, 2007:1). Karakteristik air gambut dari berbagai lokasi yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 2.1a dan Tabel 2.1b.



Tabel 2.1a. Hasil uji coba air gambut di Sungai Batara Desa Teluk Serdang, Provinsi Jambi (Pengambilan tahun 1995)

No.	Parameter	Satuan	Tipe A		Tipe B	
			Air Baku	Air Olahan	Air Baku	Air Olahan
1.	pH	-	5	7,8	4,7	7,7
2.	Warna	Pt-Co	70	3,04	85	1,8
3.	Kekeruhan	NTU	50	4,1	32	4,7
4.	Residu Terlarut	mg/L	29	183	27	180
5.	Kesadahan	mg/L	15	231	17	105
6.	Natrium (Na)	mg/L	40	38	42	41
7.	Besi (Fe)	mg/L	1,2	tt	1,29	tt
8.	Mangan (Mn)	mg/L	0,02	0,06	0,04	0,05
9.	Seng (Zn)	mg/L	tt	tt	tt	tt
10.	Alumunium (Al)	mg/L	0,44	0,2	0,45	0,19
11.	Sulfat (SO ₄)	mg/L	9,8	121	9,5	115
12.	Zat Organik (KMnO ₄)	mg/L	76	98	77	9,3

tt: Tidak terukur

Sumber : Puslitbang Sumber Daya Air (1995:4)

Tabel 2.1b. Karakteristik air gambut dari berbagai lokasi di Sumatera dan Kalimantan

No.	Parameter	Satuan	Air Gambut				Syarat Air	
			Kalsel	Kalbar	Kalteng	Sumsel	Riau	Minum Menkes
1.	pH	-	4,1	3,9	3,6	5	4	6,5 – 8,5
2.	Warna	Pt-Co	753	527	725	1315	1125	15
3.	Kekeruhan	NTU	32	0	0,5	5	9	5
4.	Kesadahan	°D	2,05	0,48	-	5,5	1,4	500
5.	Besi (Fe)	mg/L	-	-	-	-	-	0,3
6.	Mangan (Mn)	mg/L	-	-	-	-	-	0,1
7.	Sulfat (SO ₄)	mg/L	-	-	5,1	11,2	-	400
8.	Zat Organik (KMnO ₄)	mg/L	278	194	172	290	243	10
9.	Kalsium (Ca)	mg/L	-	-	-	4,5	-	-
10.	Magnesium	mg/L	8,83	2,1	-	20,9	6,2	-
11.	Klorida	mg/L	11,11	5,48	-	162	18	250
12.	CO ₂ Agresif	mg/L	-	-	31	-	80,6	-

Sumber : Puslitbang Pemukiman (Irianto, 1998)

Senyawa humus terbentuk secara alami dan bersifat heterogen yang dapat dikategorikan berdasarkan warna yaitu warna kuning sampai warna hitam berdasarkan berat molekulnya. Senyawa humus yang memberikan warna pada air gambut terdiri dari

tiga fraksi terbesar, yaitu asam humat, asam fulvat, dan humin. Ketiga fraksi tersebut dibedakan berdasarkan kelarutan dan karakteristik adsorpsinya (Tipping, 2004:6). Asam humat merupakan fraksi humus yang tidak dapat larut pada pH asam (dibawah pH 2), tetapi dapat larut sempurna pada pH > 2. Asam fulvat merupakan fraksi senyawa humus yang dapat larut pada setiap kondisi pH, baik asam maupun basa. Humin adalah fraksi senyawa humus yang tidak dapat larut pada pH asam maupun pH basa (Aiken *et al*, 1985:5).

2.1.2 Bagian-bagian dari Senyawa Humus

Senyawa humus yang terdapat pada air gambut mengandung tiga fraksi terbesar, yaitu asam humat, asam fulvat, dan humin. Fraksi tersebut dibedakan berdasarkan kelarutannya dalam alkali dan asam.

2.1.2.1 Asam Humat

Asam humat dapat didefinisikan sebagai hasil akhir dekomposisi bahan organik oleh organisme secara aerobik. Biasanya, senyawa ini ditemukan di tanah, sedimen, tanah gambut, perairan (laut, danau), lignit, batu-bara, dll (Aiken *et al*, 1985:14). Asam humat merupakan bagian dari senyawa humus yang dapat larut pada larutan basa, tetapi tidak larut pada larutan asam (pH < 2). Pada umumnya asam humat memiliki warna coklat tua sampai hitam. Senyawa ini tidak berbau, bersifat asam, dan merupakan koloid alami. Pada keadaan yang lembab, asam humat memiliki rasa yang sedikit pahit dan asam. Asam humat memiliki berat molekul yang sangat tinggi yaitu dari ratusan sampai ribuan Dalton. Ketika dipanaskan, senyawa ini tidak akan meleleh. Akan tetapi pada suhu 150 – 240 °C dan dengan bantuan agen pengoksidasi, asam humat dapat terbakar (Tan, 2003). Berdasarkan perbedaan metode pemisahannya, asam humat memiliki beberapa fraksi, yaitu : (Tan, 2003)

- a. Asam *Hymatomelanic*, yaitu fraksi asam humat yang dapat larut pada etanol. Dari semua fraksi, asam *hymatomelanic* merupakan fraksi yang paling banyak ditemukan. Senyawa ini mengandung komponen polisakarida pada ikatan esternya.
- b. Asam humat- *Alpha* (α), yaitu fraksi dari asam humat yang tersisa setelah pemisahan dengan asam *hymatomelanic* karena senyawa ini tidak larut dalam etanol.
- c. Asam humat - *Beta* (β), yaitu fraksi asam humat yang diisolasi dari larutan asam fulvat. Senyawa ini dapat diperoleh dengan menyesuaikan pH larutan asam fulvat menjadi 4,8 sehingga menghasilkan endapan yaitu asam humat- β .
- d. *Brown Humic Acid* (Asam Humat Coklat), yaitu fraksi asam humat yang larut pada larutan garam netral (0,1 M NaCl atau KCl). Fraksi ini biasanya terdapat di asam

humat yang terkandung dalam gambut, batu bara coklat, dan *afisol*. *Afisol* adalah jenis tanah yang terdapat pada lingkungan yang semi-kering sampai lembab seperti pada lingkungan hutan. Kata “Alf” menyatakan bahwa tanah ini banyak mengandung Aluminium (Al) dan Besi (Fe).

e. *Gray Humic Acid* (Asam Humat Abu-abu), yaitu fraksi asam humat yang tidak larut pada larutan garam netral (0,1 M NaCl atau KCl). Sifat asam senyawa ini lebih rendah daripada Asam Humat Coklat. Meskipun dapat terdispersi di air, senyawa ini diketahui dapat dengan mudah terkoagulasi. Biasanya fraksi ini terdapat di asam humat yang terkandung dalam *mollisol*. *Mollisol* adalah jenis tanah yang terdapat pada lingkungan semi-kering sampai semi-lembab, seperti pada lingkungan pegunungan. *Mollisol* memiliki kandungan nutrisi pada permukaan dan kandungan bahan organik pada bagian dalamnya. Perbedaan tanah gambut, *afisol*, dan *mollisol* terdapat pada gambar 2.2 a-c.

f. Fraksi Berat Molekul Tinggi dan Rendah. Fraksi berat molekul tinggi (BM > 30.000) merupakan fraksi asam humat yang pertama kali terpisahkan ketika dikenai proses pemisahan dengan gel filtrasi, sedangkan fraksi berat molekul rendah (BM = 30.000 – 15.000) merupakan fraksi yang terakhir terpisahkan. Masing-masing fraksi tersebut memiliki komposisi 50% dari total senyawa asam humat.



Gambar 2.2. (a) Tanah gambut; (b) *Afisol*; (c) *Mollisol*

Sumber: Agus, 2008

Selain fraksi-fraksi yang telah disebutkan, senyawa humus (termasuk asam humat) memiliki komposisi gugus fungsional dan komposisi senyawa (Tan, 2003).

Molekul asam humat terdiri dari *miselle* polimerik yang struktur dasarnya adalah cincin aromatik berupa di- atau trihidroksifenol. Setiap cincin aromatik dijembatani oleh —O— , $\text{—CH}_2\text{—}$, —NH— , —N= dan —S— (Aiken, et. al., 1985). Gugus fungsional pada asam humat terdiri dari gugus aktif yang memberikan sifat kimia pada senyawa

tersebut. Gugus aktif berperan pada pembentukan kompleks dan pembentukan kelat serta pembentukan jembatan ion atau logam. Gugus fungsional yang terdapat dalam asam humat adalah antara lain dalam bentuk COOH, fenolik-OH, dan karbonil. Gugus-gugus tersebut kaya akan oksigen. Selain gugus tersebut, terdapat juga gugus amino yang tidak mengandung oksigen dan juga tidak bersifat asam (Tan, 2003).

a. Gugus Karboksil

Gugus karboksil (COOH) berfungsi untuk memberi sifat asam pada molekul humat. Senyawa humat memiliki muatan dan dapat mengadsorpsi kation karena adanya gugus karboksil. Gugus ini akan terdisosiasi pada pH 3. Kandungan gugus karboksil pada asam humat adalah sekitar 2,4 – 5,4 meq/gram (Tan, 2003).

b. Gugus Hidroksil

Senyawa humus mengandung beberapa jenis gugus hidroksil, tetapi untuk karakterisasi asam humat jenis gugus hidroksil yang paling utama adalah total hidroksil, hidroksil fenolik, dan hidroksil alkoholik.

Total hidroksil adalah seluruh gugus OH yang berhubungan dengan gugus fungsional seperti fenol, alkohol, dan hidrokuinon. Akan tetapi, seringkali arti dari “total hidroksil” berarti total gugus fenolik dan alkoholik. Hidroksil fenolik adalah gugus yang terikat pada struktur fenolik (aromatik). Hidroksil alkoholik adalah gugus yang terikat pada gugus alkohol atau karbon non-aromatik.

Reaktivitas gugus alkoholik-OH biasanya lebih rendah daripada gugus fenolik-OH sehingga gugus fenolik-OH menjadi gugus yang penting dalam reaksi asam humat. Hidroksil sendiri akan bereaksi sebagai basa, tetapi fenolik-hidroksil akan bereaksi sebagai asam lemah karena proses disosiasinya terjadi pada pH 9. Ketika bermuatan, gugus fenolik-OH bersatu dengan gugus karboksil sehingga memungkinkan terjadinya reaksi.

c. Total Asiditas

Total asiditas bukan merupakan gugus fungsional, tetapi merupakan karakteristik senyawa humus yang berhubungan dengan gugus fungsional. Total asiditas biasanya digunakan untuk pengukuran kapasitas penukaran ion dari senyawa humus. Total asiditas pada asam fulvat lebih besar daripada asam humat karena kandungan gugus COOH pada asam fulvat lebih banyak.

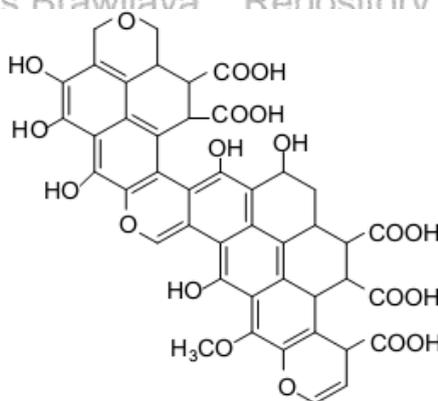
Asam humat memiliki kandungan karboksil sebanyak 2,4 – 3,9 meq/g dan kandungan fenolik-OH sebesar 2,8 – 4,4 meq/g. Perbedaan antara dua gugus tersebut sangat kecil sehingga dapat dianggap asam humat memiliki jumlah gugus karboksil dan gugus fenolik-OH yang sama (Tan, 2003).



Senyawa humus memiliki struktur yang sangat kompleks. Struktur molekularnya berdasarkan pada konstituen aromatik atau fenol yang didapatkan dari dari degradasi senyawa humus. Terdapat beberapa struktur asam humat yang telah diteliti. Beberapa dari struktur tersebut sangat sederhana, tetapi terdapat juga struktur lain yang sangat kompleks dan rumit.

- Struktur asam humat menurut Fuch

Fuch mengusulkan struktur asam humat yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Struktur tersebut merupakan hasil deduksi berbagai penelitian tentang struktur asam humat yang dihasilkan dari batubara. Struktur asam humat Fuch ini terdiri atas sistem cincin aromatik yang mengandung gugus -COOH dan -OH (Aiken *et al*, 1985:19).

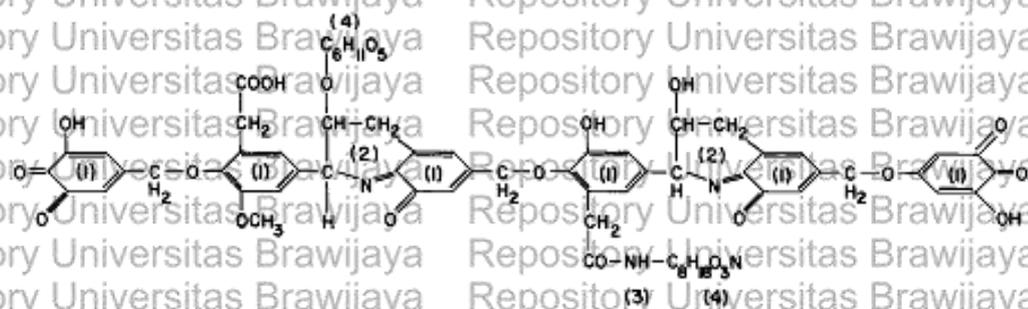


Gambar 2.3. Struktur asam humat menurut Fuch

Sumber: Aiken *et al*(1985:19)

- Struktur asam humat menurut Dragunov

Dragunov mengusulkan struktur asam humat yang mengandung cincin aromatik trihidroksibenzena serta adanya gugus kuinon. Struktur asam humat oleh Dragunov ini ditunjukkan pada Gambar 2.4.



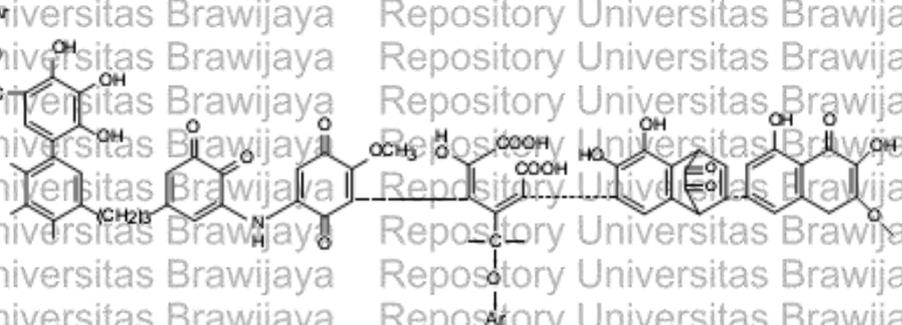
Gambar 2.4. Struktur asam humat oleh Dragunov

Sumber: Aiken *et al*(1985:23)

Keterangan : (1) Cincin aromatik trihidroksibenzena dengan ikatan rangkap pada gugus kuinon; (2) Nitrogen siklis; (3) Nitrogen pada rantai periferai; (4) Residu karbohidrat

Struktur asam humat menurut Flaig

Struktur asam humat juga dikemukakan oleh Flaig, dimana asam humat mengandung gugus -OH fenolik dalam jumlah yang banyak, tetapi gugus karboksilatnya relatif sedikit. Struktur asam humat menurut Flaig ditunjukkan pada Gambar 2.5.

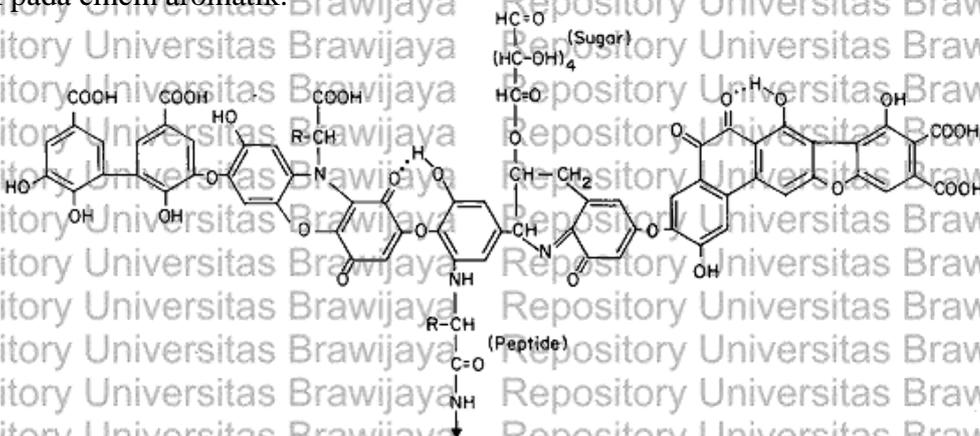


Gambar 2.5. Struktur asam humat menurut Flaig

Sumber: Aiken *et al*(1985:23)

Struktur asam humat menurut Stevenson

Struktur asam humat yang dianggap memenuhi konsep-konsep yang telah ada dikemukakan oleh Stevenson (1994) di dalam Aiken (1985). Struktur hipotetik tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.6. Gambar tersebut menunjukkan struktur asam humat dengan gugus -OH bebas dan terikat, kuinon, oksigen sebagai penghubung, dan karboksil yang terletak pada cincin aromatik.



Gambar 2.6. Struktur hipotetik oleh Stevenson

Sumber: Aiken *et al* (1985:24)

Senyawa humus dapat membentuk kompleks yang stabil dengan kation polivalen.

Senyawa humus dapat membentuk kompleks dengan ion logam karena tingginya kandungan gugus fungsional yang mengandung oksigen, yaitu COOH, fenolik-alkoholik, fenolik-OH, dan juga C=O. Schnitzer (1969) dan Gamble *et al.* (1970) di dalam Aiken (1985) menyatakan bahwa gugus COOH (karboksilat) memegang peranan penting dalam pembentukan kompleks dengan logam (Aiken *et al*, 1985:34).

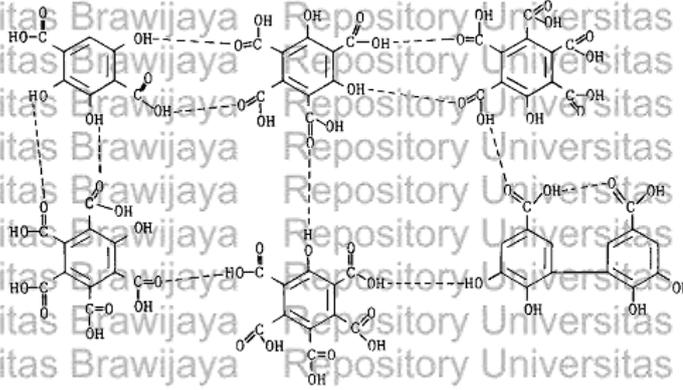
Berbagai macam pendekatan telah dilakukan untuk menentukan kapasitas pengikatan logam oleh senyawa humus seperti koagulasi (Rashid, 1971 di dalam Aiken *et al*, 1985:36), pelepasan proton, penukaran kation, voltametri anoda, dan pengukuran elektroda ion-selektif. Pada umumnya, jumlah maksimal ion logam yang dapat terikat sama dengan jumlah gugus fungsional asam, terutama COOH. Faktor yang mempengaruhi jumlah ion logam yang terikat pada senyawa humus adalah pH, kekuatan ion, berat molekul, dan kandungan gugus fungsional. Pada setiap pH dan kekuatan ion, kation trivalen dapat terikat lebih banyak daripada kation divalen. Pada pH yang tepat, kation trivalen dapat efektif mengendapkan senyawa humus dari suatu larutan (Aiken *et al*, 1985:36).

2.1.2.2 Asam Fulvat

Asam fulvat merupakan fraksi asam humat yang dapat larut dalam larutan alkali, asam, dan juga air. Asam fulvat merupakan koloid terdispersi, senyawa humus tidak berbentuk, dan berwarna coklat hingga hitam. Asam fulvat memiliki berat molekul yang paling kecil, yaitu ratusan hingga ribuan dalton (175 – 3.570 dalton). Asam fulvat akan terdekomposisi ketika dipanaskan (tanpa pembakaran). Asam fulvat akan terbakar pada suhu 190 – 200 °C dengan bantuan agen pengoksidasi (Tan, 2003)

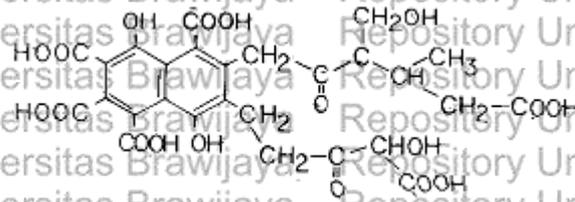
Berbeda dengan asam humat, asam fulvat mengandung oksigen yang lebih tinggi, tetapi kandungan karbon yang lebih rendah. Perbedaan lain yang membedakan asam humat dan asam fulvat adalah seluruh kandungan oksigen pada asam fulvat dapat dihitung sebagai gugus fungsionalnya (COOH, OH, C=O) (Aiken *et al*, 1985:22).

Struktur asam fulvat diusulkan oleh Scnitzer dan Khan (1972) dan Bufflr. Schnitzer dan Khan menyatakan bahwa asam fulvat terdiri dari fenolik dan asam benzena karboksilik yang disatukan oleh ikatan hidrogen untuk membentuk struktur polimer. Struktur tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Struktur asam fulvat oleh Schnitzer dan Khan

Sumber : Aiken *et al* (1985:24)



Gambar 2.8. Struktur asam fulvat oleh Buffle

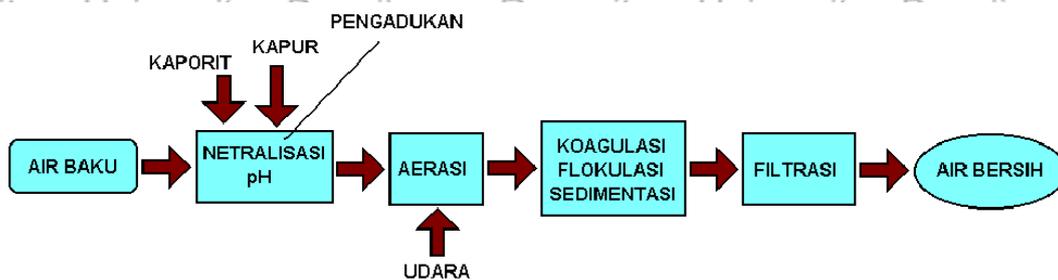
Sumber : Aiken *et al* (1985:25)

Buffle mengusulkan asam fulvat yang terdiri dari senyawa aromatik dan alifatik tersubstitusi oleh gugus yang mengandung oksigen. Struktur asam fulvat oleh Buffle ditunjukkan pada Gambar 2.8. Kedua struktur tersebut menunjukkan kandungan COOH yang melimpah (Aiken *et al*, 1985-24).

2.1.2.3 Humin

Humin adalah senyawa humus yang tidak larut dalam larutan alkali maupun larutan asam. Dalam proses ekstraksi tanah, humin adalah senyawa yang terpisahkan terakhir kali dengan larutan alkali. Di dalam humin terdapat komponen polisakarida alifatik yang membuat senyawa tersebut tidak larut dalam larutan alkali. Kandungan polisakarida yang tinggi biasanya digunakan untuk membedakan humin dengan asam humat (Tan, 2003).

2.2 Proses Koagulasi-Flokulasi-Sedimentasi



Gambar 2.9. Diagram Proses Pengolahan Air Gambut

Sumber : Martono (1991)

Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel yang disebabkan karena penambahan bahan kimia, sedangkan flokulasi adalah proses pembentukan agregat yang lebih besar dari partikel atau dari agregat lebih kecil yang telah terbentuk pada proses koagulasi karena penambahan polimer dengan berat molekul besar (Tripathy, 2006:93).

Koagulasi dan flokulasi juga dapat dibedakan dari waktu yang diperlukan pada saat prosesnya. Pada umumnya koagulasi terjadi selama kurang dari 10 detik, sedangkan flokulasi terjadi pada rentang waktu 20 – 45 menit (Crittenden *et al.*, 2012:544). Proses koagulasi harus disertai dengan pengadukan cepat untuk melarutkan koagulan yang telah ditambahkan. Setelah itu dilanjutkan dengan pengadukan lambat untuk mengaglomerasi partikel menjadi flok-flok yang lebih besar. Untuk memisahkan flok-flok tersebut dilakukan sedimentasi selama jangka waktu tertentu (Spellman, 2009:108).

2.2.1 Koagulasi

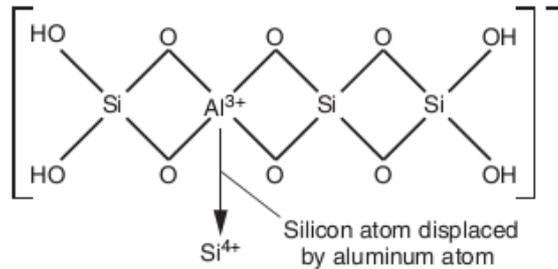
Koagulasi merupakan proses yang terjadi ketika koagulan ditambahkan ke dalam suatu larutan untuk mengondisikan suspensi, koloid, dan senyawa terlarut sehingga dapat dilakukan proses berikutnya seperti flokulasi dan penyisihan partikulat (Crittenden *et al.*, 2012:544).

Berdasarkan ukuran partikelnya, partikel di dalam air dapat dikategorikan menjadi suspensi dan koloid. Suspensi berukuran kecil, koloid, dan senyawa terlarut tidak dapat mengendap meskipun dibiarkan dalam waktu yang lama sehingga untuk mengendapkannya diperlukan bantuan bahan kimia. Partikel koloid seperti *clay*, logam oksida, protein, dan asam humat memiliki gugus fungsional yang permukaannya terionisasi. Hampir semua partikulat di alam memiliki muatan negatif yang menjadikannya semakin stabil (Crittenden *et al.*, 2012:546).

Penyebab terbentuknya muatan pada suatu partikulat adalah: (Crittenden *et al.*, 2012:547)

Pergantian *isomorphous*

Pada kondisi geologis, logam pada mineral logam oksida dapat tergantikan oleh atom logam dengan valensi lebih kecil sehingga dapat mempengaruhi muatan negatif pada material kristalnya. Contoh dari pergantian ini adalah pergantian atom Silikon (Si) oleh atom Aluminium (Al) pada partikel *clay* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.10. proses tersebut akan menghasilkan muatan negatif pada permukaan partikel *clay*.



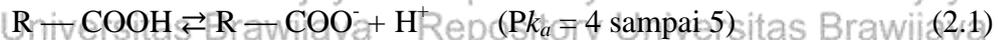
Gambar 2.10. Proses pembentukan muatan negatif melalui pergantian *isomorphous* Al-Si
 Sumber : Crittenden *et al* (2012:547)

Ketidaksempurnaan struktur

Pada *clay* dan partikel mineral yang sejenis, ketidaksempurnaan yang terjadi saat pembentukan kristal dan putusnya ikatan pada ujung struktur kristal dapat mengakibatkan pembentukan muatan di permukaan.

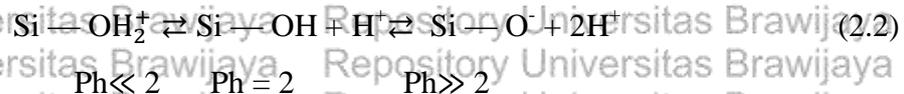
Adsorpsi ion spesifik

Partikel yang menyerap NOM (*Natural Organic Matter*) (seperti asam fulvat) memiliki muatan negatif karena mengandung gugus asam karboksilat seperti reaksi persamaan 2.1



Ionisasi gugus anorganik pada permukaan partikulat

Permukaan mineral banyak mengandung gugus fungsional (seperti hidroksil) yang perubahannya bergantung pada pH. Sebagai contohnya, silika memiliki gugus hidroksil pada permukaannya. Gugus tersebut dapat menerima atau memberikan proton seperti persamaan 2.2 berikut ini :

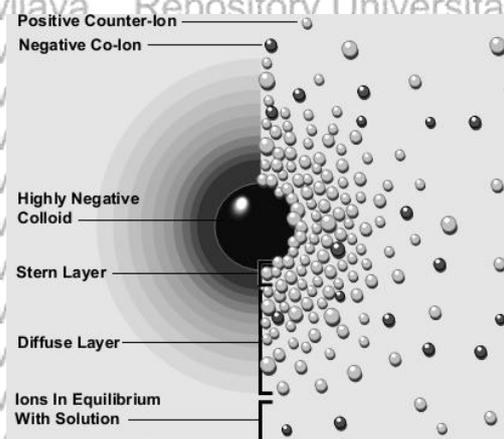


Salah satu faktor yang mempengaruhi muatan pada sebuah koloid adalah nilai ZPCnya. ZPC (*Zero Point of Charge*) adalah pH dimana muatan pada permukaan partikel

sama dengan nol. Diatas nilai pH ZPC muatan akan menjadi negatif (anion), sedangkan dibawah nilai pH ZPC muatan akan menjadi positif (kation) (Crittenden *et al*, 2012:548). Ion yang menyebabkan perubahan muatan partikel adalah ion H^+ dan OH^- . Penyerapan ion H^+ akan menyebabkan partikel menjadi bermuatan positif, dan penyerapan ion OH^- menyebabkan partikel menjadi bermuatan negatif (Tan, 2011:174).

2.2.1.1 Mekanisme koagulasi

Partikel koloid yang terdapat pada sampel cair merupakan partikel yang memiliki lapisan ganda. Lapisan ganda tersebut berada pada bagian luar partikel. Skema lapisan ganda pada partikel ditunjukkan oleh Gambar 2.11 berikut ini :



Gambar 2.11. Skema lapisan ganda jenis *Stern* pada permukaan partikel

Sumber : Zeta-Meter (1993:2)

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11, sebuah partikel koloid memiliki dua jenis lapisan. Jenis lapisan pertama adalah lapisan *Helmholtz* / lapisan *Stern* dan jenis lapisan kedua adalah lapisan *Gouy-Chapman* / lapisan difusi. Lingkaran putih menunjukkan ion bermuatan positif (kation) dan lingkaran berwarna hitam menunjukkan ion bermuatan negatif (anion). Lapisan *Stern* hanya terdiri dari kation sehingga lapisan ini sangat kuat menempel pada koloid. Pada bagian luar lapisan *Stern* terdapat muatan negatif yang menarik kation dan menolak anion lainnya sehingga terjadi tumbukan pada molekul pelarut. Lapisan kation dan anion diluar lapisan *Stern* sampai pada lapisan kesetimbangan merupakan lapisan difusi. Oleh karena itu, lapisan *Stern* hingga lapisan difusi pada sebuah koloid dinamakan dengan *Electric Double Layer* (EDL) atau lapisan ganda (Crittenden *et al*, 2012:549). Untuk dapat membentuk agregat, potensial pada lapisan *Stern* harus dapat dikalahkan dengan energi kinetik partikel lain (koagulan/flokulan) (Zeta-Meter, 1993:6). Partikel bermuatan negatif bersifat sangat stabil sehingga untuk menghilangkannya

(mendestabilisasi), dibutuhkan senyawa koagulan yang dapat menghasilkan partikel bermuatan positif.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, muatan pada permukaan koloid hidrofilik terjadi karena proses ionisasi dari gugus ionogenik. Gugus tersebut adalah karboksilat, alifatik atau hidroksil aromatik, sulfat, fosfat, dan gugus amino. Destabilisasi koloid hidrofilik melibatkan gugus fungsional tersebut sehingga dapat membentuk endapan berupa kompleks ligan-logam (Bratby, 1980:109)

Proses koagulasi dan flokulasi dapat terjadi karena mekanisme destabilisasi sebagai berikut :

a. Kompresi pada lapisan ganda

Kompresi pada lapisan ganda terjadi ketika penambahan elektrolit (contoh : NaCl) dalam jumlah besar. Elektrolit yang ditambahkan tidak boleh teradsorpsi ke dalam partikel kontaminan. Akibat dari penambahan tersebut, konsentrasi ion akan meningkat sehingga menekan lapisan ganda di permukaan partikel kontaminan (Zeta-Meter, 1993:10). Ketebalan lapisan ganda ini akan berkurang seiring dengan meningkatnya kekuatan ion. Ketika ketebalan lapisan ganda lebih kecil daripada gaya *van der Waals*, maka akan terbentuk flok-flok (Crittenden *et al*, 2012:555).

Penambahan kekuatan ion untuk menurunkan ketebalan lapisan ganda sangat mungkin untuk dilakukan, akan tetapi metode tersebut tidak praktis untuk digunakan dalam pengolahan air minum karena kekuatan ion yang harus ditambahkan melebihi standar yang ditentukan untuk air minum (Crittenden *et al*, 2012:555).

b. Adsorpsi dan Netralisasi Muatan

Partikulat dapat didestabilisasi dengan cara adsorpsi ion yang berlawanan. Hampir semua partikulat pada perairan alam memiliki muatan negatif (*clay*, asam humat, bakteri) pada pH yang netral (pH 6 sampai 8) sehingga untuk mendestabilisasinya digunakan senyawa garam logam anorganik atau polimer kation organik melalui mekanisme netralisasi muatan (Crittenden *et al*, 2012:557). Koagulan anorganik (contoh: tawas) dan polimer kation seringkali bekerja dengan mekanisme netralisasi. Netralisasi terjadi ketika partikel koagulan yang bermuatan positif teradsorpsi ke permukaan partikel kontaminan. Partikel koagulan tersebut akan menetralkan permukaan partikel kontaminan sehingga muatan nya mendekati nol. Mekanisme netralisasi adalah suatu metode untuk mengoptimalkan proses sebelum sedimentasi, filtrasi, atau flotasi (Zeta-Meter, 1993:11).

Polimer kation organik dapat digunakan sebagai koagulan utama, tetapi polimer lebih sering digunakan sebagai koagulan pendukung (*cogulant aid*) dari koagulan utama untuk

membentuk jembatan antar partikel yang akan dijelaskan selanjutnya (Crittenden *et al*, 2012:557)

Mekanisme netralisasi saja tidak menghasilkan agregat yang berukuran besar (makroflok), sehingga penambahan dosis koagulan harus selalu dikontrol. Akan tetapi, penambahan koagulan yang berlebih dapat menyebabkan perubahan muatan partikel kontaminan menjadi positif kembali. Akibatnya, partikel kontaminan tersebut semakin susah untuk dihilangkan karena partikel menjadi stabil kembali dan kekeruhannya bertambah (Crittenden *et al*, 2012:558).

c. Penjerapan Partikel dalam Presipitat (*Sweep Flocculation*)

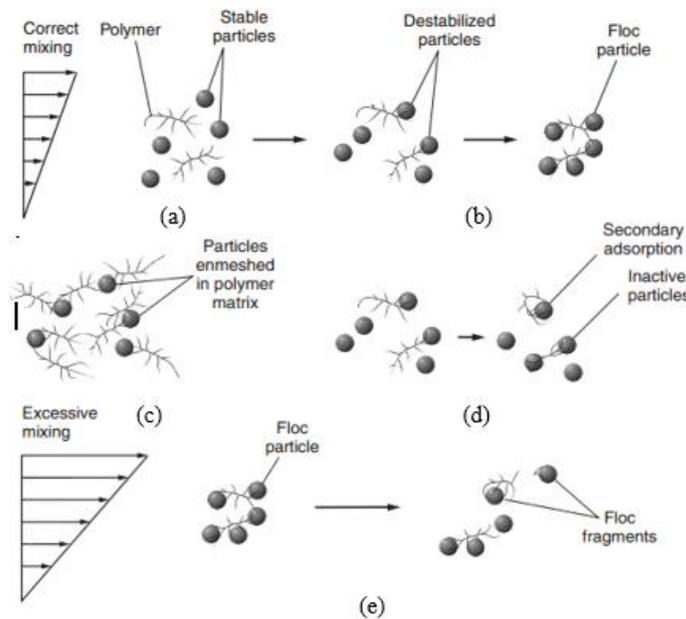
Ketika dosis koagulan yang digunakan cukup tinggi, aluminium atau besi akan membentuk endapan tidak larut yang tidak berbentuk. Proses destabilisasi seperti ini dinamakan proses *sweep flocculation* (Crittenden *et al*, 2012:559). Koagulan yang digunakan dalam jumlah *excess*, yaitu melebihi jumlah yang digunakan untuk netralisasi. Mekanisme netralisasi mungkin terjadi, tetapi sebagian besar partikel kontaminan akan terendapkan sebagai flok (Zeta-Meter, 1993:12).

Tahap-tahap *sweep flocculation* jika menggunakan koagulan dengan dosis rendah adalah (1) hidrolisis dan polimerisasi ion logam; (2) adsorpsi produk hidrolisis pada *interface*-nya dan (3) netralisasi muatan. Pada dosis koagulan yang tinggi, dimungkinkan terjadi nukleasi endapan pada permukaan partikel sehingga endapan tersebut akan tumbuh dengan bentuk yang tidak beraturan (*amorph*). Mekanisme ini pada umumnya terjadi pada pH 6-8 (Crittenden *et al*, 2012:559).

d. Adsorpsi dan Jembatan antar partikel

Jembatan antar partikel terjadi ketika koagulan (polimer) membentuk jalinan atau serat yang saling berhubungan. Pembentukan jembatan polimer merupakan proses yang kompleks dan belum dapat dijelaskan secara analitis. Rantai-rantai polimer teradsorpsi pada permukaan partikel pada satu atau beberapa ikatan pada polimer tersebut karena pengaruh 1) interaksi antar muatan; (2) interaksi dipol; (3) ikatan hidrogen; dan (4) gaya *van der Waals*. Rantai polimer yang tersisa masih terdapat di dalam larutan dan teradsorpsi pada bagian permukaan partikel yang lain sehingga menciptakan “jembatan” antar partikel. Jika polimer tersebut tidak teradsorpsi pada permukaan partikel manapun, pembentukan jembatan tidak dapat terjadi. Pembentukan jembatan polimer merupakan fenomena adsorpsi sehingga dosis optimum koagulan akan sebanding dengan konsentrasi partikulat yang ada (Crittenden *et al*, 2012:558).

Koagulan anorganik maupun polielektrolit organik memiliki kemampuan untuk membentuk jembatan. Semakin tinggi berat molekulnya, maka molekulnya semakin panjang sehingga jembatan yang terbentuk semakin baik. Mekanisme jembatan ini sering digunakan bersamaan dengan netralisasi agar mempermudah proses pembentukan makroflok. Sebagai contohnya, tawas (atau polimer kationik dengan berat molekul rendah lainnya) ditambahkan pada kontaminan pada kecepatan pengadukan yang tinggi untuk pembentukan mikroflokk. Setelah itu, polimer anionik (dengan berat molekul tinggi) ditambahkan dalam dosis yang rendah sehingga jembatan antar partikel akan terbentuk (Zeta-Meter, 1993:12).



Gambar 2.12. Skema jembatan partikel oleh koagulan berupa polimer

Sumber : Crittenden *et al* (2012:560)

Ketika dilakukan penambahan polimer dengan dosis optimumnya seperti pada reaksi (a), partikel koloid terdestabilisasi dan dapat terflokulasi seperti pada reaksi (b). Jika penambahan polimer terlalu berlebihan, maka seluruh area adsorpsi pada partikel akan terisi oleh polimer tersebut sehingga tidak dapat terjadi flokulasi seperti yang ditunjukkan reaksi (c). Jika konsentrasi partikel terlalu kecil atau proses pengadukan tidak berjalan sempurna, maka rantai polimer yang masih bebas akan teradsorpsi pada partikel terdestabilisasi sehingga restabilisasi dapat terjadi seperti yang ditunjukkan reaksi (d). Jika partikel dikenai pengadukan terlalu lama atau terlalu cepat, flok yang terbentuk akan pecah (e).

2.2.1.2 Koagulan utama ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Koagulan adalah bahan kimia yang ditambahkan kedalam suatu larutan untuk membantu proses destabilisasi partikel yang ingin diendapkan. Terdapat dua jenis koagulan, yaitu koagulan mineral dan koagulan organik. Koagulan mineral merupakan koagulan berbasis garam besi (Fe) seperti FeCl_3 , $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ dan berbasis garam alum seperti PAC (*Poly Aluminium Chloride*), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, dll. Koagulan tersebut akan menghasilkan muatan positif Fe^{3+} atau Al^{3+} yang dapat membentuk besi hidroksida ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) dan Aluminium hidroksida ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ketika dicampur ke dalam air. Keunggulan dari koagulan mineral adalah harga yang relatif murah dan penggunaannya universal (SNF, 2003:5).

Koagulan organik memiliki struktur yang terdiri dari gugus ammonium yang berikatan dengan rantai panjang polimer. Contoh dari koagulan organik adalah *polyamines*, *polydadmac*, resin *discyandiamide*, dan resin *melamine-formaldehyde*. Keuntungan utama dari koagulan organik adalah diperlukan dosis yang sedikit untuk proses koagulasi. Selain itu, volume sludge kecil dan tidak mengandung endapan hidroksida (SNF, 2003:6).

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ atau besi (III) klorida heksahidrat bukanlah bahan kimia baru untuk dunia industri pengolahan air minum dan tersedia secara komersial di Amerika Serikat pada tahun 1930. Sejak tahun 1986 telah terjadi peningkatan ketertarikan terhadap $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang tidak hanya untuk penghilangan kekeruhan tetapi juga untuk penghilangan warna, bahan organik alam dan arsenik dari air baku.

Karakteristik $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ merupakan bentuk hidrat dari FeCl_3 . Senyawa tersebut memiliki berat molekul sebesar 270,32 dan berwarna coklat kekuningan. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ atau Besi (III) klorida heksahidrat memiliki rumus lain yang dapat lebih jelas menggambarkan strukturnya, yaitu *trans*- $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Rumus senyawa tersebut memiliki nama sistematis *tetraaquadichloroiron (III) chloride dihydrate*. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ terdiri dari kompleks kation *trans*- $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]^{2+}$ dan anion klorida. Molekul H_2O yang tersisa akan bersatu dan membentuk struktur kristal monoklinis (NBC, 2010:1). Struktur $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditunjukkan oleh Gambar 2.13.

Gambar 2.13. Struktur $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Sumber: SNF, 2003

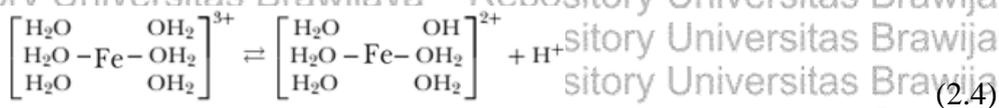
- Kemampuan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai koagulan

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ berfungsi sebagai reaktan untuk menghilangkan pengotor dalam air dan juga dapat berfungsi baik sebagai koagulan. Dalam pengolahan air, air minum khususnya, pemahaman mengenai reaksi antara koagulan dengan alkalinitas hidroksida adalah kunci utama untuk memahami efektifitas sebagai koagulan.

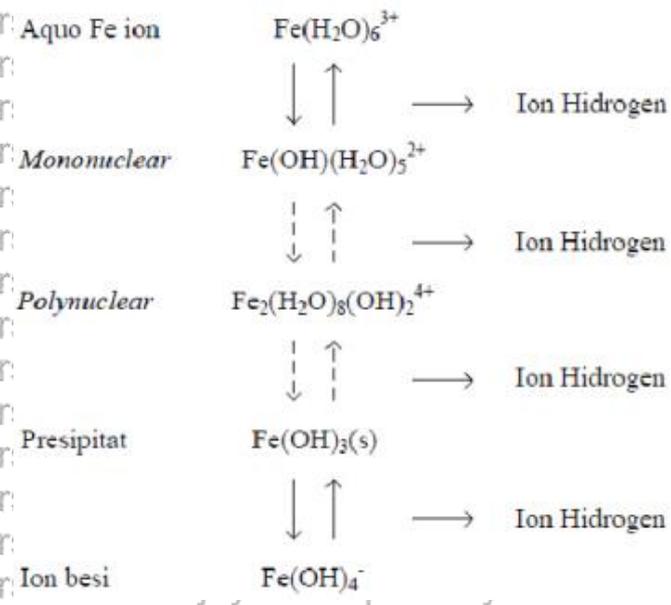
Ketika ion Fe^{3+} atau Al^{3+} ditambahkan ke dalam air, terdapat beberapa tahapan reaksi yang berurutan. Mula-mula, terjadi disosiasi Fe(III) sehingga menghasilkan ion Fe^{3+} seperti reaksi berikut ini



Ion trivalen Fe^{3+} kemudian terhidrasi untuk membentuk kompleks *aquometal* $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$.

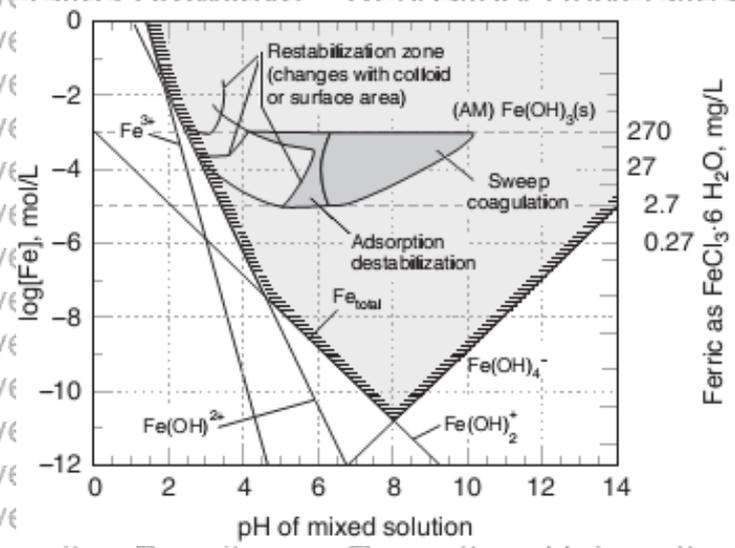


Kompleks *aquometal* pada bagian kiri persamaan 2.4 kemudian bereaksi kembali menjadi sebuah spesi mononuklear (satu ion besi) yaitu $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ atau $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ dan $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$ atau $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$. Setelah pembentukan spesi mononuklear, diteruskan dengan pembentukan polinuklear, pembentukan endapan, dan pembentukan ion aluminat (Crittenden *et al*, 2012:563). Tahap-tahap pembentukan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Tahap-tahap hidrolisis besi (III)
 Sumber : Crittenden *et al* (2012:563)

Produk hasil hidrolisis dari $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ berbeda dari jenis koagulan lain seperti $\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ dan $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Agregat yang terbentuk dari proses koagulasi menggunakan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ lebih padat dan densitas muatan kationnya lebih tinggi, sedangkan agregat yang terbentuk dari koagulasi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ lebih ringan dan memiliki struktur seperti awan. Rentang kerja pH $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ juga sangat luas, yaitu pada pH 5-8,5. Gambar 2.15 menunjukkan kelarutan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ beserta rentang pH agar dihasilkan proses koagulasi yang optimal.

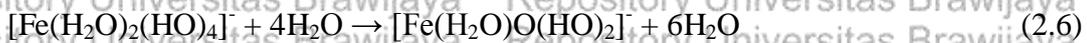
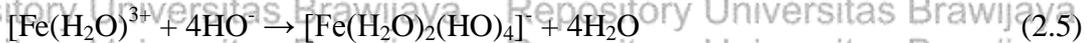


Gambar 2.15. Grafik kelarutan Fe(III) pada rentang pH tertentu
 Sumber : Crittenden *et al* (2012:564)

Pada Gambar 2.15, proses koagulasi yang ditandai dengan daerah arsiran adalah daerah *sweep coagulation*. Rentang pH untuk mencapai proses *sweep coagulation* itu adalah pada pH 6-10 dengan konsentrasi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebesar 2,7 – 270 mg/L.

Aplikasi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada industri digunakan pada industri air minum dan juga untuk proses pengolahan limbah. Dalam penggunaannya, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada air yang sedikit mengandung alkali bereaksi dengan ion hidroksida sehingga membentuk besi (III) hidroksida atau dengan rumus empiris $\text{FeO}(\text{OH})^-$ yang dapat berperan sebagai pengikat material tersuspensi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut: (NBC, 2010:2)



$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ juga digunakan sebagai agen *leaching* pada pembuatan Si dari FeSi.

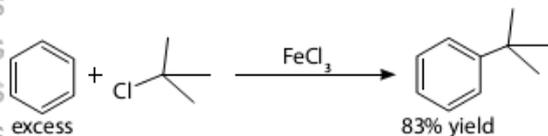
Aplikasi lain dari FeCl_3 adalah pada industri pembuatan papan sirkuit. FeCl_3 akan bereaksi redoks dua tahap menjadi tembaga (I) klorida dan menjadi tembaga (II) klorida. Reaksinya adalah sebagai berikut: (NBC, 2010)



FeCl_3 juga digunakan sebagai katalis pada reaksi etilen dengan klorin yang membentuk etilen diklorida. Etilen diklorida merupakan senyawa kimia yang biasa digunakan untuk pembuatan vinil klorida (monomer pembuatan PVC). Reaksinya adalah sebagai berikut : (NBC, 2010)



Selain penggunaan pada industri, FeCl_3 digunakan sebagai katalis pada reaksi klorinasi senyawa aromatik. Meskipun kekuatannya lebih lemah daripada AlCl_3 , FeCl_3 dapat meningkatkan *yield* pada alkilasi benzena dengan reaksi sebagai berikut : (NBC, 2010:3)



FeCl_3 juga digunakan untuk tes kolorimetri fenol. Larutan FeCl_3 (1%) dinetralisasi dengan NaOH hingga terbentuk endapan $\text{FeO}(\text{OH})$. Campuran tersebut kemudian disaring.

Substansi organik dilarutkan ke dalam air, metanol, atau etanol, kemudian ditambahkan larutan ternetralisasi yang sebelumnya telah dibuat. Perubahan warna yang terlihat menandakan adanya kandungan fenol atau enol.

2.2.1.3 Koagulan pendukung / flokulan (kitosan)

Jenis-jenis flokulan yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu flokulan anorganik dan flokulan polimerik. Flokulan polimerik dibagi kembali menjadi dua jenis, yaitu polimer alami dan polimer sintetis. Flokulan anorganik contohnya adalah $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$, $FeCl_3$, dan $Fe_2(SO_4)_3$. Flokulan polimerik sintesis contohnya adalah polyacrylamide, polyamine, poly ethylene imine, poly vinyl sulfonic acid, dll. Flokulan alami contohnya adalah zat pati, kitosan dan turunan kitin lainnya, selulosa, dll (Tripathy, 2006:99).

Keuntungan penggunaan polimer alami adalah bersifat tidak beracun dan dapat diperbarui. Akan tetapi, efisiensi flokulan alami lebih rendah dari flokulan anorganik maupun flokulan polimer sintetis sehingga memerlukan jumlah yang besar dalam penggunaannya. Keuntungan terbesar dalam penggunaan flokulan polimer alami adalah sifatnya yang *biodegradable*. Akan tetapi, keuntungan tersebut dapat menjadi kelemahan pula yaitu berkurangnya umur penyimpanan serta penurunan efisiensi karena rusaknya molekul flokulan saat lamanya penyimpanan. Flokulan polimer sintetis memiliki efisiensi yang tinggi serta memiliki konsistensi dan keseragaman pada produknya. Stabilitas kimia dan biologis polimer sintetis juga lebih baik dibandingkan dengan polimer alami. Akan tetapi, kerugiannya adalah sebagian besar polimer sintetis bersifat racun pada monomernya dan harganya lebih mahal (Tripathy, 2006:109).

Koagulasi pendukung terkadang digunakan untuk mencapai kondisi optimum untuk proses koagulasi dan flokulasi. Tujuannya adalah untuk mendapatkan pembentukan flok lebih cepat, menghasilkan gumpalan padat dan kuat, mengurangi dosis koagulan utama dan meningkatkan pengurangan kekeruhan dan pengotor lainnya. Salah satu alat bantu koagulan utama dalam proses pengolahan air adalah kitosan (Hesami *et al*, 2013:47).

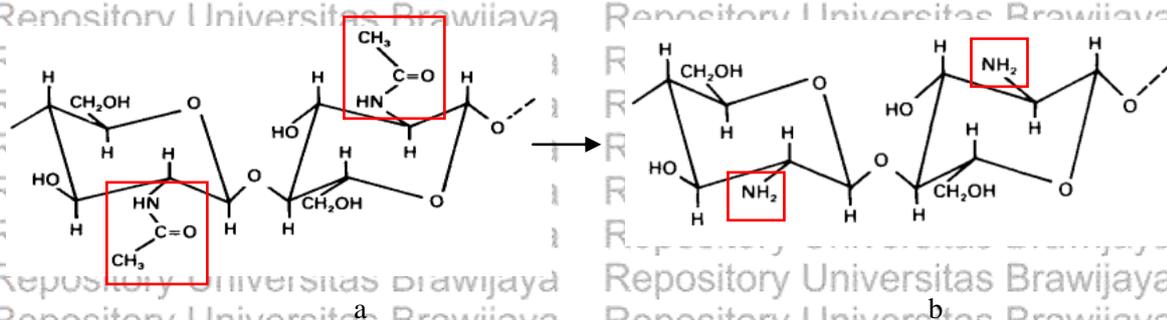
- Karakteristik kitosan

Ada beberapa jenis polisakarida yang terbentuk secara alamiah, yaitu selulosa, dekstran, pektin, asam alginat, agar, karagenan. Polisakarida tersebut bersifat netral atau asam. Kitin dan kitosan adalah salah satu contoh polisakarida yang bersifat sangat basa. Polimer ini memiliki sifat tidak beracun, tidak berbau, dan tidak berbahaya untuk jaringan tubuh makhluk hidup. Parameter utama yang mempengaruhi karakteristik kitosan adalah berat molekul dan derajat deasetilasinya yang juga berpengaruh pada kelarutan dan rheologi dari kitosan. (Chen, 2008:8).

Kitosan merupakan polimer yang ditentukan oleh jumlah molekul gula per molekul polimer (n), dimana jumlah tersebut akan menentukan berat molekulnya. Berat molekul

kitosan bergantung pada proses deasetilasinya. Berat molekul rata-rata dari kitosan adalah pada rentang 50 – 2.000 kDa. Kitosan adalah polimer semi-kristal dan derajat kristalinitasnya merupakan fungsi dari derajat deasetilasi. Proses deasetilasi adalah proses penghilangan gugus asetil pada rantai molekul kitin, sehingga gugus yang tersisa adalah gugus amino ($-NH_2$) (Chen, 2008:10). Kitin diperoleh dari pengolahan cangkang udang dan kepiting (Altaher, 2012:98).

Untuk meningkatkan jumlah gugus amino dan untuk mendapat derajat asetilasi yang tinggi, kitosan dikontakkan dengan larutan alkali. Peningkatan suhu atau konsentrasi larutan alkali juga dapat meningkatkan prosentase penghilangan gugus asetil dari kitin (Chen, 2008:10). Konversi kitin menjadi kitosan ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Konversi kitin (a) menjadi kitosan (b)

Sumber: Dutta *et al*, 2004

Berdasarkan sifat-sifat kitosan, secara luas kitosan dapat digunakan pada produk dan aplikasi yang secara luas, dari farmasi dan produk kosmetik hingga pengolahan air dan proteksi tanaman. Pada penggunaan aplikasi yang berbeda, dibutuhkan karakteristik kitosan yang berbeda pula. (Dutta *et al*, 2004:24)

Kemampuan kitosan sebagai koagulan pendukung / flokulan

Kitosan mengandung dua gugus hidroksil reaktif dan kelompok amino reaktif yang sangat tinggi, yang memberikan kitosan daya serap yang kuat. Kapasitas koagulasi kitosan tergantung pada gugus amino ini. Protonasi gugus ini membuat kitosan yang bermuatan positif mengikat partikel bermuatan negatif sehingga menyebabkan destabilisasi partikel tersebut (Altaher, 2012:98).

Chatterjee *et al* (2009) pada Altaher (2012:98), menyatakan mekanisme untuk koagulasi menggunakan kitosan sangat banyak, termasuk penarikan elektrostatik, penyerapan (karena protonasi gugus amino), kapasitas *chelating* (karena tingginya kandungan gugus OH) dan jembatan partikel (*bridging*) (karena berat molekul tinggi

kitosan). Kitosan memiliki banyak keuntungan dibandingkan koagulan lainnya. Satu keuntungan utama adalah terkait dengan kemudahan penanganan lumpur karena tidak beracun dan bidegradabel. Koagulasi kitosan menghasilkan gumpalan dari ukuran yang lebih besar dan kecepatan menetap lebih cepat. Keuntungan lain adalah tidak adanya logam yang terbentuk setelah proses koagulasi. Selain itu, kitosan dapat digunakan sebagai koagulan utama maupun sebagai koagulan pendukung (*coagulant aid*).

Kitosan tidak dapat larut dalam air, larutan alkali, atau pelarut yang memiliki pH lebih dari 7 karena kitosan memiliki struktur kristal yang padat, kaku dan stabil. Kitosan dapat larut pada asam organik maupun anorganik seperti HCl, H_3PO_4 , CH_3COOH , $HCOOH$ dll. Sistem pelarut, konsentrasi polimer, pH, konsentrasi ion dengan muatan berbeda, dan suhu akan mempengaruhi kekentalan larutan kitosan. Pada pH dibawah 4, hampir seluruh gugus amino akan terprotonasi. Proses protonasi ini akan menghasilkan gaya tolak-menolak antara muatan kitosan yang sama sehingga mengakibatkan pembengkakan jaringan polimer. Saat terjadi reaksi netralisasi dengan NaOH, kekuatan ionik dari larutan akan meningkat sehingga berdampak pada pengurangan ukuran agregat yang terbentuk. Gugus amino bebas kemudian akan membentuk ikatan hidrogen dengan oksigen. Pada nilai pH diatas 6,5, ukuran agregat akan meningkat sehingga pemisahan antar fasa dapat terjadi (Chen, 2008:13).

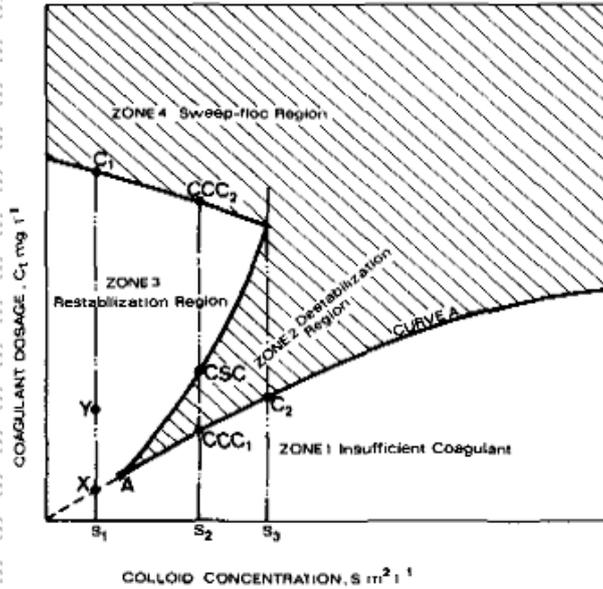
2.2.1.4 Faktor yang mempengaruhi koagulasi

a. Afinitas Koloid Dalam Air

Koloid hidrofilik bersifat sangat stabil. Kestabilan penyebaran koloid hidrofilik bergantung pada afinitasnya terhadap air. Destabilisasi larutan yang mengandung koloid hidrofilik membutuhkan 10-20 kali lebih banyak koagulan daripada koloid hidrofobik (Hammer, 1996:21)

b. Konsentrasi koloid dan Konsentrasi Koagulan

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi koloid terhadap kebutuhan/dosis koagulan yang digunakan untuk mencapai destabilisasi, dapat digunakan grafik pada gambar 2.17.



Gambar 2.17. Grafik konsentrasi koloid dengan dosis koagulan
Sumber : Bratby (1980:101)

Grafik pada Gambar 2.17 menunjukkan hubungan antara konsentrasi partikel kontaminan dengan dosis koagulan yang harus ditambahkan. Grafik tersebut dibagi menjadi 4 zona, yaitu Zona 1, Zona 2, Zona 3, dan Zona 4.

Zona 1 (*Insufficient Coagulant*) mengindikasikan bahwa jumlah koagulan yang digunakan (S_1) tidak dapat mendestabilisasi partikel kontaminan karena kemungkinan kontak antar partikel sangat kecil. Agar dapat terjadi koagulasi, maka dosis koagulan harus dinaikkan hingga C_1 . Titik CCC_1 menunjukkan jumlah koagulan maksimal yang dapat ditambahkan agar terjadi proses destabilisasi. Akan tetapi, jika dosis koagulan dinaikkan hingga mencapai titik CSC , maka akan terjadi restabilisasi dan proses koagulasi tidak bisa tercapai. Zona 2 (*Destabilization Region*) menunjukkan area dimana dapat terjadi proses destabilisasi (Bratby, 1980:102)

Zona 3 (*Restabilization Region*) merupakan zona dimana destabilisasi dan restabilisasi terjadi secara berurutan karena penambahan koagulan yang berlebihan. Zona 4 (*Sweep floc Region*) menunjukkan region dimana dosis koagulan cukup tinggi untuk mencapai lewat jenuh (*oversaturation*). Pada konsentrasi partikel koloid lebih dari S_3 , maka mekanisme destabilisasi yang lebih dominan adalah kompresi pada lapisan ganda.

c. Kation dalam Larutan

Adanya kation divalen seperti Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air dapat membantu proses koagulasi koloid. Keuntungan adanya kation dalam larutan yaitu dapat membantu menekan

lapisan ganda pada koloid dan meminimalisir gaya *van der Waals* serta mengurangi gaya tolak yang menghambat koagulan untuk teradsorb (Wang *et al*, 2005:114)

d. Anion dalam Larutan

Koagulan berbasis logam dapat membentuk bermacam-macam spesi logam hidroksida bermuatan positif, tergantung pada pH larutan. Jika pH larutan masih dalam rentang pH operasi, koagulan akan membentuk senyawa hidroksidanya. Senyawa ini akan membentuk endapan yang menyebabkan proses *sweep coagulation*. Akan tetapi, pada pH rendah (di bawah rentang pH operasi) dengan dosis koagulan yang tinggi, akan cenderung meningkatkan muatan positif spesi logam yang telah terikat pada permukaan koloid sehingga koloid akan berubah muatan menjadi positif dan memicu terjadinya restabilisasi (Wang *et al*, 2005:114).

e. Nilai pH pada Saat koagulasi

Terdapat hubungan antara pH dengan jenis logam hidroksida yang terbentuk. Selain itu, pH juga berpengaruh pada kelarutan koagulan. Ketika ion alkali berjumlah sedikit (pH rendah), maka pH akan turun sehingga koagulan akan bersifat sangat larut. Hal tersebut menyebabkan proses koagulasi tidak berjalan dengan baik. Pada pH yang lebih tinggi, ion positif koagulan akan berubah menjadi logam hidroksida tidak larut yang kemudian mengalami flokulasi lebih lanjut.

Kondisi pH pada saat koagulasi berhubungan dengan nilai *Zero Point Charge* (ZPC) dari partikel. Untuk asam humat, nilai ZPCnya adalah pada pH 3 (Crittenden *et al*, 2012:548). Ketika partikel berada dibawah pH ZPC, ion H^+ akan lebih banyak berikatan ke permukaan hidroksil daripada ion OH^- sehingga menghasilkan muatan positif. Begitu pula sebaliknya, ketika pH dinaikkan melampaui nilai pH ZPC, maka partikel akan bermuatan negatif.

2.2.2 Flokulasi

Flokulasi adalah proses pengadukan lambat pada air yang telah dikoagulasi untuk meningkatkan kemungkinan tumbukan antar partikel. Pengadukan yang efektif dapat meningkatkan proses sedimentasi sehingga menghasilkan air yang berkualitas baik. Tujuan dari flokulasi adalah untuk menghasilkan flok yang seragam, padat, dan tidak mudah pecah sehingga mempercepat proses sedimentasi (Spellman, 2009:108).

Secara teoritis proses flokulasi dapat terjadi ketika (1) partikel kecil mengalami gerakan *Brown* karena adanya tumbukan dengan molekul pada fluida sehingga terjadi tumbukan antar partikel; (2) pengadukan air yang mengandung partikel sehingga

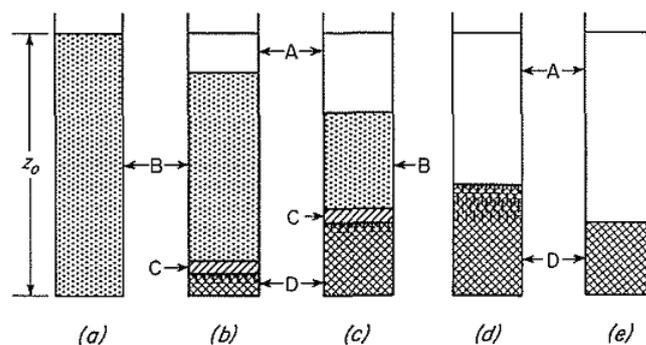
menghasilkan gradien kecepatan yang membuat partikel saling bertumbukan (Crittenden *et al.*, 2012:590). Gerakan tumbukan partikel yang disebabkan oleh gerakan *Brown* disebut flokulasi perikinetik, sedangkan tumbukan partikel karena adanya gradien kecepatan disebut dengan flokulasi ortokinetik (Bratby, 1980:205).

Flokulasi perikinetik (flokulasi skala kecil) terjadi saat partikel berukuran kurang dari $0,1 \mu\text{m}$ melakukan agregasi karena adanya gerakan *Brown*. Partikel dengan ukuran besar akan terbentuk ketika partikel kecil tersebut terus menerus teragregasi. Pada waktu yang singkat, mikroflok dengan ukuran $1-100 \mu\text{m}$ akan terbentuk. Untuk partikel berukuran lebih dari $1 \mu\text{m}$, flokulasi terjadi karena adanya pengadukan lambat. Pengadukan tersebut menghasilkan gradien kecepatan yang menyebabkan tumbukan antar partikel. Ketika pengadukan, flok yang telah terbentuk akan mengalami gesekan secara terus menerus sehingga memungkinkan terjadinya pemecahan flok. Setelah waktu pengadukan tertentu akan terbentuk kesetimbangan flok dimana laju pembentukan dan pemecahan flok hampir sama. Mekanisme tersebut merupakan mekanisme flokulasi ortokinetik (Crittenden *et al.*, 2012:591).

2.2.3 Sedimentasi

Proses sedimentasi adalah proses mengendapnya flok-flok yang telah terbentuk pada proses koagulasi-flokulasi. Pada pengolahan air limbah tingkat lanjutan, sedimentasi ditujukan untuk penyisihan lumpur setelah koagulasi dan sebelum filtrasi. Selain itu, prinsip sedimentasi juga digunakan dalam pengendalian partikel di udara (Reynolds, 1996).

Proses sedimentasi terjadi melalui beberapa tahap. Selama tahap tersebut, pembentukan zona-zona yang berbeda pada cairan yang mengalami sedimentasi. Zona-zona tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Zona-zona pada proses sedimentasi

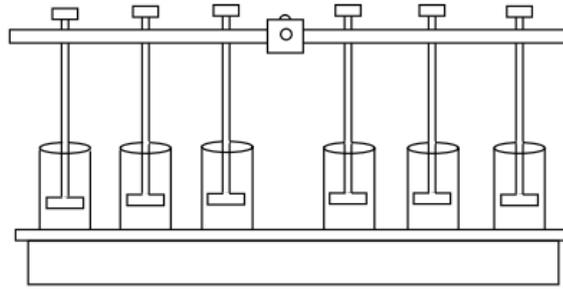
Sumber : Mc.Cabe *et al.* (1993:1053)

Mula-mula, padatan akan terdistribusi sempurna di dalam cairan seperti Gambar 2.18(a). Kedalaman dari suspensi adalah Z_0 . Setelah beberapa waktu, padatan akan terendapkan sehingga membentuk zona bening (Zona A) seperti yang ditunjukkan Gambar 2.18(b) dan zona D. Zona C adalah zona yang konsentrasi padatannya gabungan antara zona D dan zona B. Pada zona B, konsentrasi padatannya sama dengan konsentrasi awal larutan. Batas antara zona D-C dan C-B agak sedikit kabur, sedangkan batas antara zona A-B dapat terlihat (McCabe *et al*, 1993:1052).

Setelah proses pengendapan berlanjut, kedalaman zona D dan zona A akan meningkat, kedalaman zona C konstan, dan kedalaman zona B berkurang. Kondisi tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.18(c). Setelah itu, zona B akan menghilang dan seluruh padatan akan berkumpul pada zona C dan D seperti pada Gambar 2.18(d). Penumpukan padatan akan mengakibatkan tekanan pada zona D. Tekanan tersebut akan memecah flok/agregat sehingga cairan yang terkandung di dalamnya terdorong keatas. Ketika berat padatan seimbang dengan tekanan flok, proses sedimentasi akan berhenti sehingga proses akhir sedimentasi menghasilkan satu zona seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.18(e) (McCabe *et al*, 1993:1053).

2.3 Metode Jar Test

Metode *jar test* adalah metode kualitatif yang sering digunakan pada industri pengolahan air. Pada tes ini, dilakukan penambahan koagulan pada sampel limbah cair dan kemudian dilanjutkan dengan pengadukan cepat selama 1 menit. Sampel tersebut kemudian diaduk perlahan (untuk menstimulasi flokulasi) selama 10-30 menit. Setelah itu, dilakukan pendiaman selama 10-30 menit untuk pengamatan pembentukan flok, ukuran flok, dan laju pengendapan flok yang terbentuk (Liu, 1999:255). Metode *jar test* dapat digunakan untuk mengetahui koagulan yang efektif, mengetahui dosis optimum koagulan, serta menentukan jumlah flokulan pada dosis yang tepat (Spellman, 2009:616). Alat untuk metode *jar test* terdiri dari batang pengaduk dengan jumlah tertentu yang kecepatannya dapat diatur. Alat *jar test* ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Alat jar test

Sumber : Spellman (2009:616)

2.4 Penelitian Sebelumnya

Selama beberapa tahun terakhir telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh berbagai koagulan seperti FeCl_3 , alum, PACl dan kitosan dalam proses koagulasi asam humat, antara lain sebagai berikut :

Tabel 2.2. Judul penelitian-penelitian sebelumnya

Nama (Tahun Penelitian)	Judul	Kondisi Percobaan	Hasil
Dr. Hashsham (2007)	<i>Coagulation and Flocculation : Color Removal</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Koagulasi air sungai Red Cedar dan sampel asam humat yang dilarutkan dengan air kran - Koagulan : alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) - Konsentrasi koagulan : 10-220 ppm - Variabel pH larutan : 4-9,5 	<ul style="list-style-type: none"> - 70% pengurangan warna dicapai saat dosis alum 140 ppm pada pH 6 - Hasil efisien (pengurangan biaya) dicapai saat dosis alum 100 ppm pada pH 6,5 (pengurangan warna 60%)
Winarni (2003)	Kaogulasi Menggunakan Alum dan PACl	<ul style="list-style-type: none"> - Koagulasi 2 tipe larutan sintesis asam humat dan kaolin - Tipe 1 : 200 ppm kaolin dan 5 ppm asam humat (turbiditas : $132 \pm 3,7$ FNU) - Tipe 2 : 20 ppm kaolin dan 5 ppm asam humat (turbiditas $13,7 \pm 0,5$ FNU) - Koagulan : Alum (3-50 ppm) dan PACl (0,27 	<ul style="list-style-type: none"> - PACl pada kondisi asam (5-6,5) memberikan hasil yang baik - Kondisi optimum alum pada pH netral (6,5 – 7,0) - Kenaikan dosis alum meningkatkan penurunan kekeruhan serta memperlebar rentang pH operasi

Tabel 2.2. Judul penelitian-penelitian sebelumnya (Lanjutan)

Nama (Tahun Penelitian)	Judul	Kondisi Percobaan	Hasil
		- 4,5 ppm) - Variabel pH : 5-8	
Dadan Suherman dan Nyoman Sumawijaya (2013)	Menghilangkan Warna dan Zat Organik Air Gambut dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Suasana Basa	- Koagulasi larutan tanah lempung - Koagulan : Alumunium Sulfat (0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1 gram) - Penambah suasana basa : Kapur tohor dengan variasi berat 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,1; 0,12; dan 0,14 gram	- Koagulasi pada pH 11 berhasil menghilangkan warna 99,20% (dari 385,5 TCU menjadi 3,01 TCU) - Kandungan zat organik turun sebesar 98,15% (dari 385,87 ppm KMnO_4 menjadi 7,19 ppm KMnO_4)
Farid Hesami, Bina Bijan, dan Afshin Ebrahimi (2013)	<i>The Effectiveness of Chitosan as Coagulant Aid in Turbidity Removal from Water</i>	- Koagulasi menggunakan sampel dengan tingkat turbiditas berbeda - Koagulan utama berupa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan koagulan pendukung berupa kitosan - Variabel pH 4-9 - Konsentrasi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5, 10, 15, 20, dan 30 ppm - Konsentrasi kitosan 0-2 ppm (dengan interval 0,25 ppm)	- pH maksimum koagulasi dengan kombinasi koagulan adalah pH 7 - dosis optimum $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ adalah 10 ppm dan dosis kitosan 0,5 ppm - Prosentase penghilangan turbiditas sebesar 95%



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode secara kualitatif maupun kuantitatif. Selain itu, penelitian ini dilakukan berdasarkan variabel-variabel tetap dan bebas yang telah ditentukan guna mengetahui hasil yang diperoleh.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada akhir bulan April hingga Juni 2016 di Laboratorium Sains Teknik Kimia FT UB. Analisa UV-Vis dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Teknik Kimia FT UB, sedangkan analisa FT-IR dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Kimia FMIPA UB.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel Tetap

- Konsentrasi sampel larutan asam humat : 90 ppm. Asam humat didapatkan dari Toko Kimia Makmur Sejati
- Volume larutan uji : 250 mL
- Penambahan koagulan dilakukan pada proses pengadukan cepat (120 rpm, 1 menit) dilanjutkan dengan proses pengadukan lambat (20 rpm, 25 menit)
- Molaritas larutan HCl dan NaOH masing-masing 0,1 M
- Waktu sedimentasi setelah koagulasi : 120 menit
- Suhu saat proses koagulasi : suhu kamar

3.3.2 Variabel Bebas

- Konsentrasi koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$: 20, 40, 60, 80, dan 100 mg/L
- Konsentrasi kitosan : 10, 20, 30, 40 dan 50 mg/L
- pH : 6, 7, 8, dan 9

Penelitian ini terdiri dari penentuan prosentase penurunan warna dan kekeruhan maksimal menggunakan koagulan utama dan koagulan aid seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut :

Tabel 3.1 Penentuan pH dan Konsentrasi Optimum $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Nama Sampel	Konsentrasi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (mg/L)	pH
20-6	20	6
20-7		7
20-8		8
20-9		9
40-6		6
40-7	40	7
40-8		8
40-9		9
60-6		6
60-7	60	7
60-8		8
60-9		9
80-6		6
80-7	80	7
80-8		8
80-9		9
100-6		6
100-7	100	7
100-8		8
100-9		9

Melalui penelitian yang dilakukan sesuai Tabel 3.1, data yang didapatkan berupa sebuah grafik dengan 4 kurva yang menunjukkan kondisi pH dan konsentrasi optimum $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ untuk proses koagulasi larutan asam humat. Untuk proses selanjutnya dilakukan penelitian sesuai Tabel 3.2 yang menunjukkan data pengaruh penambahan koagulan tambahan berupa kitosan pada proses koagulasi larutan asam humat dengan kondisi pH dan konsentrasi optimum $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Tabel 3.2 Variasi Konsentrasi Kitosan sebagai Koagulan Pendukung

Sampel	Konsentrasi Kitosan (mg/L)
1	10
2	20
3	30
4	40
5	50

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

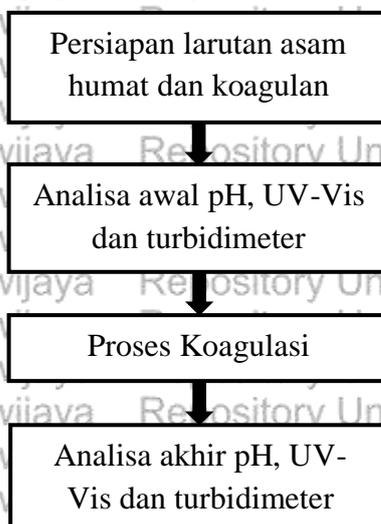
3.4.1 Alat Penelitian

Alat-alat utama yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu *jar test*, neraca analitik, turbidimeter, UV-Vis dan pH meter. Selain itu, juga digunakan alat-alat gelas seperti labu ukur, gelas beaker, gelas ukur, pipet ukur dan botol-botol kaca atau plastik.

3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu adalah serbuk asam humat yang didapat dari Toko Kimia Makmur Sejati, padatan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ p.a, padatan kitosan, larutan HCl dan NaOH dengan konsentrasi masing-masing 0,1 M.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Secara umum, penelitian yang dilakukan terdiri dari empat tahap seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, yaitu tahap persiapan larutan asam humat dan persiapan koagulan, tahap kedua adalah penentuan gelombang maksimum larutan asam humat pada UV-Vis serta mengukur nilai pH, absorbansi dan kekeruhan sampel sebelum koagulasi, tahapan ketiga adalah proses utama, yaitu proses koagulasi, dan tahap terakhir adalah analisa akhir berupa pengukuran pH, analisa UV-Vis dan turbidimeter

3.5.1 Persiapan Sampel



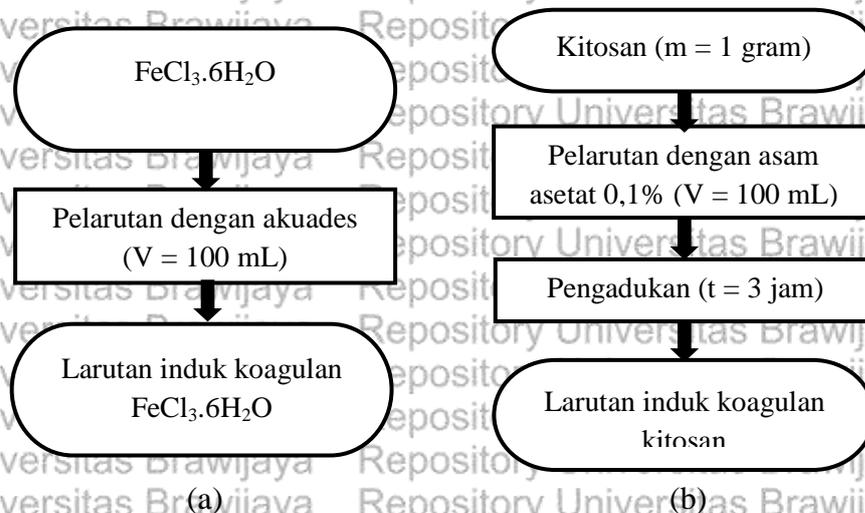
Gambar 3.2 Diagram Alir Persiapan Sampel

Pada penelitian ini, larutan asam humat dipilih sebagai sampel dari air gambut. Asam humat berbentuk serbuk berwarna coklat kehitaman. Serbuk asam humat ditimbang sebanyak 0,09 gram dan dilarutkan dalam 1000 mL air menggunakan labu ukur. Sebelum dibagi menjadi 4 bagian, larutan asam humat terlebih dahulu ditentukan panjang gelombang maksimumnya guna analisa absorbansi menggunakan UV-Vis. Setelah ditentukan panjang gelombang maksimumnya, dilanjutkan analisa awal meliputi pengukuran pH, nilai absorbansi (UV-Vis) dan kekeruhannya (turbidimeter). Analisa awal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan pH yang terjadi dan penurunan nilai absorbansi serta kekeruhan antara sebelum dan sesudah proses koagulasi.

3.5.2 Persiapan Koagulan

Tahap persiapan koagulan utama ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ditunjukkan pada Gambar 3.3(a). Serbuk $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,01 gram dilarutkan ke dalam 100 mL akuades. Larutan tersebut kemudian menjadi larutan stok/larutan induk (100 ppm) yang digunakan untuk membuat larutan koagulan dengan konsentrasi yang berbeda sesuai dengan rancangan penelitian. Gambar 3.3(b) menunjukkan persiapan larutan koagulan pendukung, yakni kitosan. Sebanyak 1 gram kitosan dilarutkan ke dalam 100 ml asam asetat 1% campuran

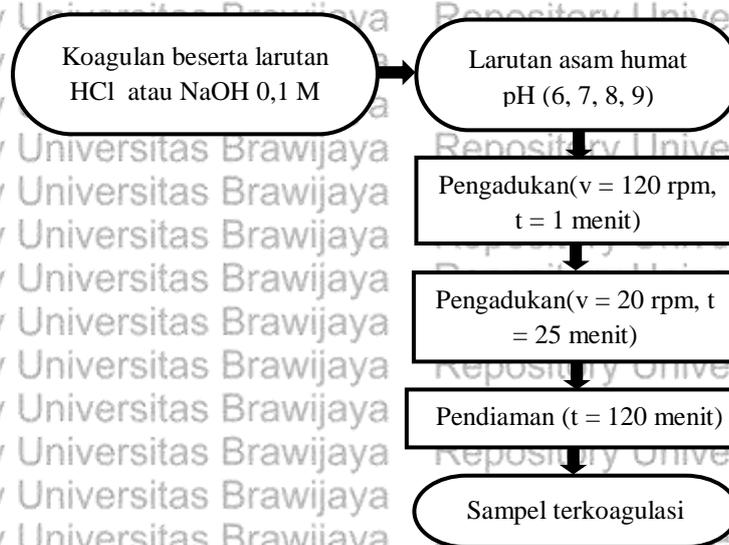
tersebut kemudian diaduk selama 3 jam. Kedua larutan koagulan ini tidak bisa disimpan dalam waktu yang lama karena larutan tersebut mudah rusak.



Gambar 3.3 Diagram Alir Persiapan Koagulan :

(a) Koagulan utama ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), (b) Koagulan pendukung (kitosan)

3.5.3 Proses Koagulasi

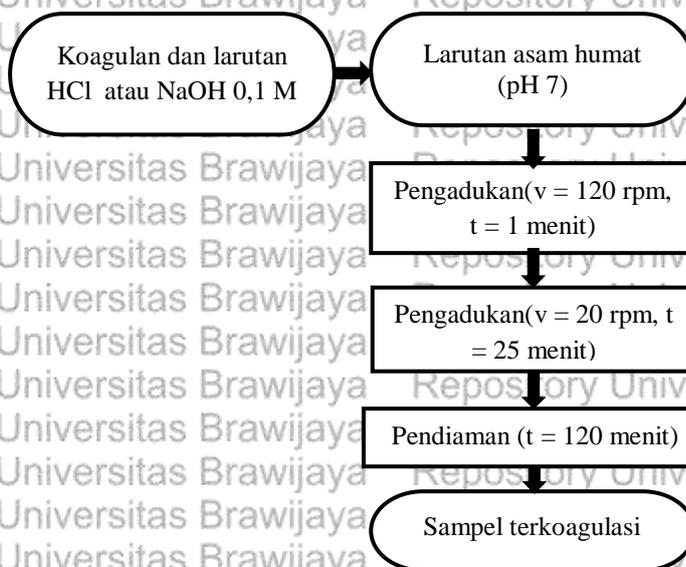


Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Koagulasi untuk Mencari pH dan Konsentrasi Optimum Koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Untuk mengetahui pH dan konsentrasi optimum dari koagulan, dilakukan dua tahap proses koagulasi. Tahap pertama adalah koagulasi untuk menentukan pH serta konsentrasi optimum koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Sebuah alat *jar test* konvensional dibutuhkan dalam penelitian ini sebagai pengaduk berkecepatan. Penelitian dilakukan dalam kondisi suhu ruang. Volume sampel yang digunakan sebanyak 250 mL setiap variabel. Derajat

keasaman sampel (pH) diatur menjadi 6, 7, 8, dan 9 dengan menambahkan larutan HCl atau NaOH dengan molaritas 0,1 M. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.4, koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan pada larutan sampel dan diaduk dengan kecepatan cepat (120 rpm) selama 1 menit dan dilanjutkan dengan kecepatan rendah (20 rpm) selama 25 menit. Setelah pengadukan tersebut, larutan didiamkan selama 120 menit.

Gambar 3.5 menunjukkan proses koagulasi tahap kedua yaitu untuk mengetahui pengaruh kitosan yang digunakan pada proses koagulasi larutan asam humat dengan pH optimum yang telah ditemukan pada tahap pertama. Koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi optimum yang telah ditentukan sebelumnya kemudian dimasukkan ke dalam sampel dan diaduk dengan kecepatan 120 rpm selama 1 menit. Setelah itu, ke dalam sampel dimasukkan kitosan dengan variasi konsentrasi 10 sampai 50 mg/L (interval 10). Pengadukan kemudian dilanjutkan dengan kecepatan 20 rpm selama 25 menit. Setelah proses tersebut, kemudian dilakukan pendiaman selama 120 menit.



Gambar 3.5 Diagram Alir Koagulasi menggunakan Koagulan Pendukung (Kitosan)

3.5.4 Analisa

3.5.4.1 Pengukuran Derajat Keasaman (pH)

Pengukuran derajat keasaman atau pH berfungsi untuk mengukur pH awal larutan asam humat yang akan dikoagulasi. Data pH awal tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa banyak larutan HCl atau NaOH yang akan ditambahkan agar mencapai pH larutan yang diinginkan sesuai variabel yang telah ditentukan.

Pada penelitian ini digunakan pHmeter dari Schott® handylab pH 11 dengan spesifikasi sebagai berikut :



Tabel 3.3. Spesifikasi pHmeter Schott® handylab pH 11

Spesifikasi	Default
Mode Pengukuran	pH
Slope	-59,16 mV/pH
Asimetris	0 mV
pH yang ditunjukkan	0,01
pH saat kalibrasi	Buffer Nominal Value
U (mV)	± 0,3 pada 15 ... 35 °C
Presisi	± 1 ± 0,005 pada 15 ... 35 °C
Suhu input	± 0,01 25 °C

Selain dilakukan di awal, pengukuran pH juga dilakukan diakhir penelitian, yakni setelah prosedur pengambilan sampel pendiaman selama 120 menit. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui pH akhir larutan setelah dikoagulasi yang nantinya menjadi data pendukung yang akan dibandingkan dengan parameter pH sesuai baku mutu air minum.

3.5.4.2 Pengukuran Absorbansi Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

Pengukuran absorbansi dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Sebanyak 3 mL sampel yang telah dibuat, dimasukkan dalam kuvet dan dilakukan uji menggunakan akuades sebagai blanko. Spesifikasi alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Sistem fotometrik: *Single beam type*
- Fotometrik
 - Jarak : -3,0 – 3,0 ABS
 - Akurasi : ± 0,005 ABS (pada 1,0 ABS)
 - Reproducibility : ± 0,003 ABS (pada 1,0 ABS)
- Panjang gelombang
 - Jarak : 190 - 1110
 - Akurasi : $\pm 0,5 \text{ nm}$
 - Reproducibility : $\pm 0,1 \text{ nm}$
 - Setting : $\leq 0,1 \text{ nm}$
 - Slew rate : sekitar 7800 nm/min

3.5.4.3 Pengukuran Keketuhan Menggunakan Turbidimeter

Untuk mengetahui nilai kekeruhan pada setiap sampel yang diuji, maka dilakukan pengukuran menggunakan alat yang bernama turbidimeter. Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali pada masing-masing sampel, yaitu pada saat sebelum dan sesudah koagulasi. Pengukuran sebanyak dua kali tersebut bertujuan untuk mengetahui prosentase penurunan kekeruhan (NTU) masing-masing sampel. Rumus perhitungan prosentase penurunan kekeruhan adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ penurunan kekeruhan} = \frac{\text{NTU}_{\text{awal}} - \text{NTU}_{\text{akhir}}}{\text{NTU}_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Alat turbidimeter yang digunakan adalah turbidimeter dengan kode instrument TB 300 IR, nomor serial 15/2650 merk Lovibond Water Testing dengan toleransi/akurasi pengukuran alat sebagai berikut :

Tabel 3.4. Toleransi Pengukuran Larutan Standar Turbidimeter

Tipe Larutan Standar	Toleransi
< 0,1 NTU	n/a
20 NTU	± 1 NTU
200 NTU	± 10 NTU
800 NTU	± 50 NTU

3.5.4.4 Analisa FT-IR

Pada penelitian kali ini, padatan asam humat dan koagulan pendukung yakni kitosan perlu diuji FT-IR guna mengetahui gugus yang terkandung di dalam asam humat serta untuk mengetahui derajat deasetilasi (DD) dari kitosan. FT-IR atau *Fourier transform-Infra Red* merupakan metode spektroskopi *infrared* untuk analisa sampel secara kualitatif. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia beserta strukturnya. FT-IR menggunakan sebuah interferometer yang diletakkan di dalam monokromator (Tilstone *et al*, 2006:537). Analisa FT-IR pada penelitian ini diujikan di Laboratorium Instrumentasi Kimia FMIPA UB.

3.5.4.5 Analisa Warna

Pada penelitian ini, pengukuran konsentrasi warna dilakukan secara spektroskopi menggunakan alat bernama UV-Vis. Karena asam humat merupakan substansi yang kompleks, sangat dianjurkan untuk menggunakan sebuah standarisasi untuk mengukur warna. Standarisasi tersebut didasarkan pada larutan platinum kobalt yang menghasilkan warna coklat kekuningan yang serupa dengan asam humat (Bratby,1980:114). Nilai absorbansi tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam sebuah persamaan kurva standar

larutan asam humat yang dikorelasikan dengan nilai Pt.Co, sehingga didapatkan nilai intensitas warna dengan satuan Pt.Co.

Perhitungan prosentase penurunan warna didapatkan dengan menghitung menggunakan rumus berikut :

$$\% \text{ penurunan warna} = \frac{\text{Pt.Co}_{\text{awal}} - \text{Pt.Co}_{\text{akhir}}}{\text{Pt.Co}_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (3.2)$$

3.5.4.6 Analisa BNT (Beda Nyata Terkecil)

Analisa BNT digunakan untuk mengetahui signifikansi pada setiap perlakuan. Dalam hal ini uji BNT dilakukan pada perlakuan penambahan kitosan sebagai *coagulant aid* dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm. Sebelum mencari nilai BNT, maka harus dilakukan uji ANOVA terlebih dahulu dengan menggunakan Microsoft Excel. Setelah itu baru dilakukan penghitungan untuk nilai BNT dengan rumus sebagai berikut :

$$BNT_{\alpha} = (t_{\alpha, df_e}) \sqrt{\frac{2(MS_E)}{r}} \quad (3.3)$$

dimana

BNT_{α} : Beda Nyata terkecil

t_{α, df_e} : Nilai tabel untuk derajat bebas galat pada taraf sebesar α (95%)

MS_E : *Mean Square Error* dari hasil perhitungan ANOVA

R : Banyaknya replikasi atau variasi setiap perlakuan

Setelah mengetahui nilai BNT, maka kemudian dilakukan perhitungan selisih dari rata-rata tiap perlakuan untuk mengetahui signifikansi dari setiap perlakuan.

$$|\bar{X}_1 - \bar{X}_2| \leq LSD_{\alpha} = \text{Tidak Berbeda Signifikan} \quad (3.4)$$

dimana \bar{X} adalah rata-rata tiap data pada setiap perlakuan. Jika selisih rata-rata lebih kecil atau sama dengan nilai BNT atau LSD (*Least Signifikan Difference*), maka dapat dikatakan perlakuan tersebut tidak memberikan perbedaan yang signifikan, begitu juga sebaliknya.



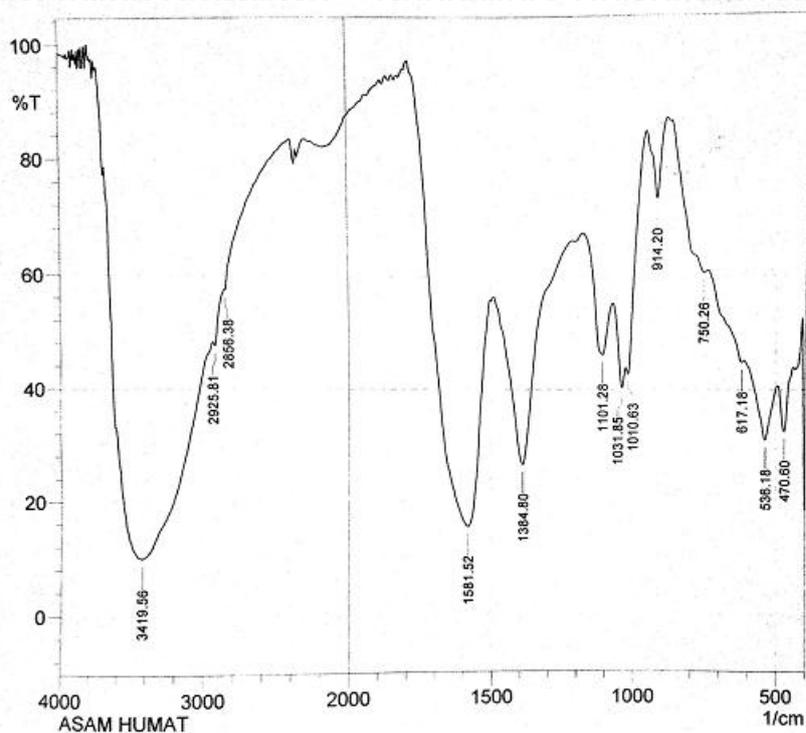
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi FT-IR (*Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy*)

Dalam penelitian ini dilakukan karakterisasi menggunakan spektroskopi FT-IR dari asam humat sebagai sampel sintetis dan kitosan sebagai koagulan. Karakterisasi FT-IR pada asam humat berfungsi untuk mengetahui gugus aktif apa saja yang terlibat dalam reaksi koagulasi, sedangkan karakterisasi FT-IR kitosan berfungsi untuk mengetahui nilai derajat asetilasinya.

4.1.1 Analisa FT-IR Asam Humat

Gambar 4.1 menunjukkan karakterisasi FT-IR dari asam humat yang dilakukan di laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya, Malang.



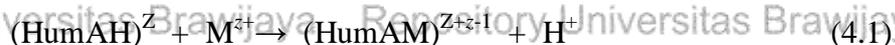
Gambar 4.1. Spektra FT-IR asam humat

Sumber : Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya, Malang

Asam humat yang digunakan di dalam penelitian adalah asam humat yang bersifat teknis, sehingga dimungkinkan terdapat perbedaan dengan asam humat yang bersifat p.a. Oleh karena itu, analisa ini bertujuan untuk mengetahui gugus apa saja yang terkibat dalam proses koagulasi berdasarkan asumsi bahwa gugus yang berperan dalam koagulasi adalah gugus dengan jumlah yang paling banyak.

Berdasarkan Gambar 4.1, terlihat bahwa terdapat 8 puncak spektra, yaitu pada bilangan gelombang 3419,56; 2925,81; 2858,38; 1581,52; 1384,80; 1101,28; 1031,85; dan 914,2 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang 3400 – 3200 seharusnya ditemukan vibrasi *stretching* gugus OH (fenolik), tetapi pada spektra FTIR Gambar 4.1 menunjukkan puncak pada bilangan gelombang 3419,56. Menurut Lesbani (2012:5), pergeseran tersebut memperjelas keberadaan gugus —OH. Persen transmitansi menunjukkan cahaya yang dipancarkan atau yang tidak diserap oleh sampel. Semakin panjang lengkung spektra, maka akan makin kecil nilai transmitansinya yang menunjukkan bahwa gugus aktif tersebut banyak menyerap cahaya dan sedikit yang dipancarkan sehingga intensitas gugus tersebut banyak. Lengkung spektra pada gelombang tersebut sangat panjang dan memiliki nilai transmitansi yang kecil yaitu sekitar 10%. Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat banyak kandungan gugus —OH pada senyawa asam humat. Puncak kedua dan ketiga, yaitu pada 2925,81 dan 2858,38 merupakan vibrasi *stretching* C-H alifatik dari gugus CH_3 pada rentang bilangan gelombang 2960 – 2850 cm^{-1} . Puncak keempat berada pada bilangan gelombang 1581,52 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang tersebut ditemukan COO^- *stretching asymetris* pada karboksilat (—COOH). Nilai transmitansi dari gugus tersebut adalah sebesar 15%. Serapan yang muncul selanjutnya adalah pada bilangan gelombang 1384 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang tersebut terdeteksi deformasi CH pada CH_3 (Rahman *et al.*, 2010:46). Pada bilangan gelombang 1031,85 dan 914,2 cm^{-1} ditemukan vibrasi *stretching* C-O dari polisakarida dan mineral alam seperti Si-O (Lesbani, 2012:6).

Berdasarkan pembacaan spektra FT-IR tersebut, dapat disimpulkan bahwa gugus aktif yang terlibat dalam reaksi adalah gugus fenolik (—OH) dan gugus karboksilat (—COOH) karena memiliki nilai transmitansi paling besar sehingga paling memungkinkan untuk bereaksi dengan molekul koagulan sehingga membentuk kompleks asam humat-logam. Reaksi umum yang menunjukkan pembentukan kompleks asam humat-logam ditunjukkan pada reaksi berikut : (Tipping, 2004:202)

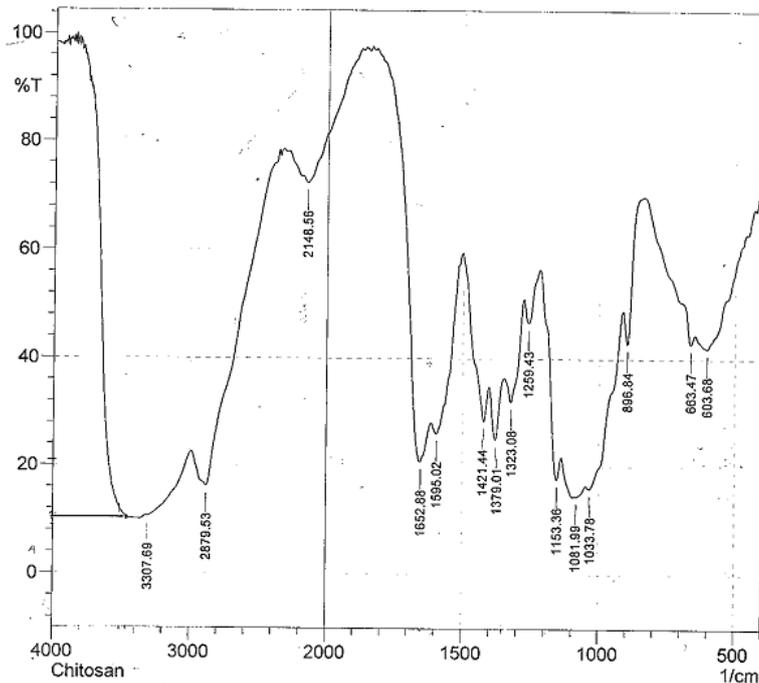


(HumAH) adalah gugus fungsional yang terdapat dalam asam humat yaitu gugus karboksilat atau gugus hidroksida. M^{Z+} menunjukkan ion logam yang bereaksi dengan

gugus fungsional. Kompleks asam humat yang terbentuk ditunjukkan oleh simbol $(\text{HumAZ})^{Z+1}$. Kompleks asam humat-logam tersebut memungkinkan untuk terbentuk sebelum terbentuknya presipitat (Hendricks, 2006:353).

4.1.2 Analisa FT-IR Kitosan

Gambar 4.2 menunjukkan hasil karakterisasi FT-IR dari kitosan yang dilakukan di laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya, Malang.



Gambar 4.2 Spektra FT-IR dari kitosan.

Sumber : Laboratorium Instrumentasi Jurusan Kimia FMIPA Universitas Brawijaya, Malang

Pembacaan spektra FT-IR pada Gambar 4.2 ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1. Gugus-gugus aktif yang terdapat pada kitosan

No	Gugus	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)
1.	Amina (-NH ₂) primer	3307,69
2.	C-H pada (-CH ₂) <i>stretching asymetris</i>	2879,53
3.	C-H pada (-CH ₂) <i>stretching symetris</i>	2879,53
4.	C=O pada amida (-NHCOCH ₃ -) <i>stretching</i>	1652,88
5.	C=O pada amida (-NHCOCH ₃ -) <i>bending</i>	1595,02
6.	C-H pada (-CH ₂) <i>bending asymetris</i>	1421,44
7.	C-H pada (-CH ₂) <i>bending symetris</i>	1379,01
8.	C-O pada (C-O-C) <i>stretching asymetris</i>	1081,99
9.	C-O pada (C-O-C) <i>stretching symetris</i>	1033,78
10.	-NH ₂ amida primer	896,84
11.	N-C=O amida primer	574,75

Gambar 4.2 menunjukkan nilai transmitansi dari tiap-tiap gugus yang terbaca pada FT-IR. Transmitansi merupakan perbandingan dari intensitas cahaya yang dipancarkan dengan intensitas cahaya yang diserap (Silverstain, 2005:72). Semakin kecil transmitansi, maka semakin sedikit cahaya yang dipancarkan oleh sampel, sehingga menunjukkan bahwa partikelnya semakin banyak.

Untuk mencari nilai derajat deasetilasi, digunakan rumus sebagai berikut (Khan *et al*, 2002)

$$DD = 100 - \left[\frac{\left(\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \right) \times 100}{1,33} \right] \quad (4.2)$$

Rumus pada persamaan (4.1) berasal dari perbandingan absorbansi pada bilangan gelombang gugus amida (-NHCOCH₃) dengan rentang bilangan gelombang (1650–1500) dan gugus amina primer (-NH₂) padarentang bilangan gelombang (3500 – 3200) dengan nilai absorbansi 1,33 pada proses deasetilasi sempurna. Berdasarkan perhitungan, ditemukan nilai Derajat Deasetilasi (DD) dari kitosan adalah sebesar 54,516%. Nilai tersebut dibawah nilai DD kitosan komersial yaitu sebesar 70-95% menurut Kalut (2008:9). Rendahnya nilai DD tersebut disebabkan karena nilai tramsmitansi pada gelombang gugus amida relatif kecil, yang menunjukkan bahwa masih banyaknya gugus amida yang masih belum terdeasetilasi. Semakin banyak gugus amida pada kitosan

menandakan proses deasetilasi tidak sempurna sehingga menghasilkan nilai DD yang kecil.

Semakin besar nilai DD menunjukkan banyaknya jumlah gugus amina (—NH_2) yang terbentuk ketika proses deasetilasi. Kitosan yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai DD yang relatif kecil sehingga jumlah gugus aminanya juga kecil. Akan tetapi, menurut Guibal *et al* (2006) di dalam Renault *et al* (2009:1343), nilai DD dan berat molekul kitosan tidak banyak berpengaruh pada performa koagulasi-flokulasi. Nilai DD lebih berpengaruh pada suspensi bentonit atau larutan warna dibandingkan dengan pada larutan kaolin atau larutan asam humat.

4.2 Pengaruh pH dan Dosis Koagulan menggunakan Koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

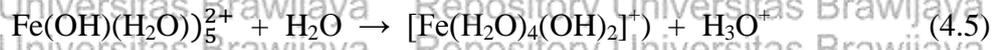
Berdasarkan ukurannya, partikel di dalam air dapat dikategorikan menjadi suspensi dan koloid. Suspensi berukuran kecil, koloid, dan senyawa terlarut tidak dapat mengendap meskipun dibiarkan dalam waktu yang lama sehingga untuk mengendapkannya diperlukan bantuan bahan kimia. Koloid hidrofilik seperti *clay*, logam oksida, protein, dan asam humat memiliki gugus fungsional yang permukaannya terionisasi. Hampir semua partikulat di alam memiliki muatan negatif yang menjadikannya semakin stabil (Crittenden *et al*, 2012:546). Partikel bermuatan negatif bersifat sangat stabil sehingga untuk menghilangkannya (mendestabilisasi), dibutuhkan senyawa koagulan yang dapat menghasilkan partikel bermuatan positif. Salah satu jenis koagulan mineral yang sangat universal digunakan yaitu $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ yang memiliki kelebihan tidak hanya untuk penghilangan kekeruhan tetapi juga untuk penghilangan warna, bahan organik alam dan arsenik dari air baku.

Pada penelitian ini, dilakukan analisa penurunan warna dan kekeruhan yang disebabkan adanya kandungan senyawa humat (90 ppm) dengan menggunakan metode koagulasi menggunakan koagulan utama $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Senyawa ini dapat terhidrolisis jika dilarutkan ke dalam air dan menghasilkan kation Fe^{3+} yang berperan aktif dalam proses koagulasi partikel koloid. Prosedur pertama yang dilakukan adalah mencari pH dan dosis koagulan optimal yang digunakan berdasarkan penurunan warna dan kekeruhannya.

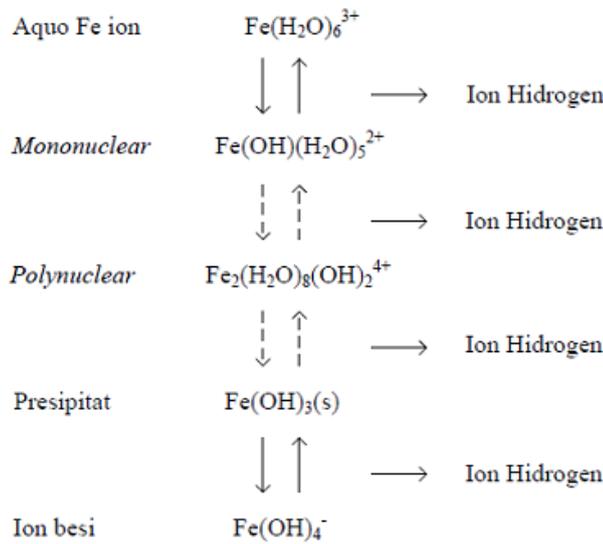
Pada proses koagulasi, koagulan akan mengalami beberapa reaksi. Proses yang terjadi ketika koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan ke dalam air terdapat beberapa reaksi, mula-mula terjadi disosiasi Fe(III) sehingga menghasilkan ion Fe^{3+} seperti reaksi yang ditunjukkan berikut : (McEwen, 1998 : 78-79)



Hidrolisis $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ menjadi Fe^{3+} terjadi pada $\text{pH} \pm 3$ (Hendricks, 2006 : 306). Ion trivalent tersebut kemudian terhidrasi untuk membentuk kompleks aquo-logam $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ dan terjadi reaksi lanjutan untuk membentuk spesi *mononuclear* $(\text{Fe}(\text{OH})(\text{H}_2\text{O}))_5^{2+}$ dan $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$ seperti reaksi berikut : (Hendricks, 2006:306)

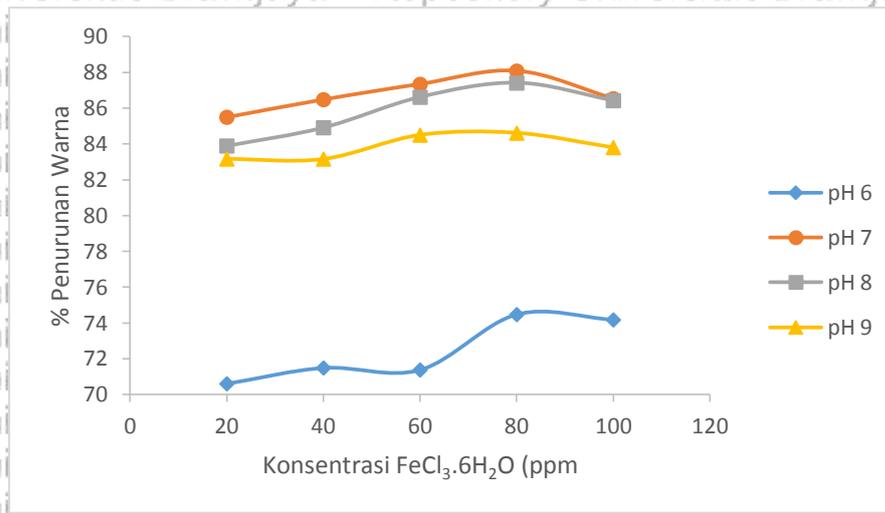


Pada persamaan (4.3), ion besi memiliki 6 buah koordinasi dan enam molekul air yang berada di sekelilingnya, yaitu kompleks aquo-logam. Berdasarkan grafik kelarutan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Lihat Gambar 2.15), reaksi ion logam dengan air menghasilkan beberapa macam produk. Pada kondisi pH larutan tinggi ($6 < \text{pH} < 10$) dan dengan konsentrasi koagulan yang tinggi pula, produk utama yang terbentuk berupa logam hidroksida $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Sedangkan pada pH rendah ($4 < \text{pH} < 6$), produk yang terbentuk berupa kompleks dengan air (Hendricks, 2006). Pada $\text{pH} > 10$, spesi yang terbentuk adalah $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ yang bersifat larut. Kompleks aquo-logam selanjutnya yang telah mengalami tahapan hidrolisis membentuk sebuah spesi *mononuclear* (satu ion besi), diteruskan dengan pembentukan polinuklear, endapan dan ion aluminat yang ditunjukkan dengan skema berikut :

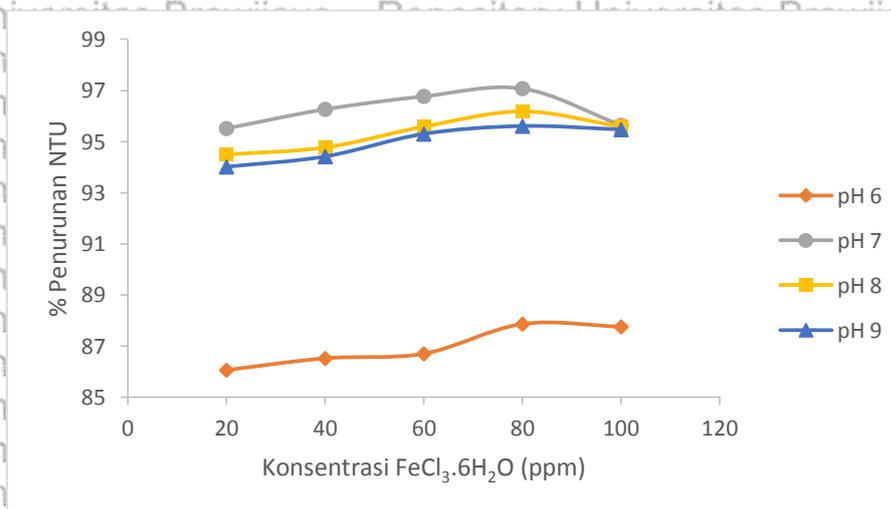


Gambar 4.3. Tahap-tahap hidrolisis besi (III)
 Sumber : Crittenden *et al* (2012:563)

Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.4. Penurunan Intensitas Warna dengan Variasi pH dan Konsentrasi Koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

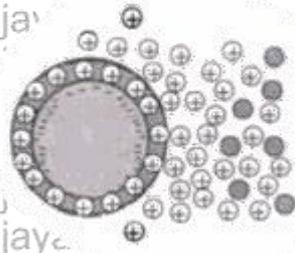


Gambar 4.5. Penurunan Kekeruhan dengan Variasi pH dan Konsentrasi Koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Berdasarkan Gambar 4.4 dan Gambar 4.5, pH yang paling baik untuk proses koagulasi dengan koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ adalah pada pH 7 karena menunjukkan prosentase penurunan warna kekeruhan yang paling tinggi.

Pada pH 6, penurunan warna serta kekeruhan menunjukkan hasil yang paling kecil pada setiap variabel konsentrasi koagulan. Untuk mencapai pH 6 tersebut, perlu ditambahkan larutan HCl 0,1 M ke dalam sampel. HCl yang ditambahkan ke dalam sampel dapat terdisosiasi menjadi H^+ dan Cl^- . H^+ merupakan *counter ion* atau ion yang memiliki muatan yang berbeda dengan koloid. Keberadaan ion H^+ dan ion Fe^{3+} dapat menekan

lapisan ganda koloid sehingga terjadi terdestabilisasi. Skema pendesakan lapisan koloid pada larutan dengan kekuatan ion tinggi ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Lapisan *Stern* koloid pada Larutan dengan Kekuatan Ion yang Tinggi
Sumber : Hendricks (2006:200)

Akan tetapi pada pH 6, ion H^+ yang terdapat dalam sampel terlalu banyak, sehingga terjadi adsorpsi *counter ion* yang berlebihan dan menyebabkan gaya tolak-menolak antar ion positif (Gozan, 2011). Pada keadaan tersebut sangat mungkin terjadi restabilisasi koloid, sehingga pengikatan koloid oleh koagulan tidak berjalan baik. Selain itu, menurut Boggs, *et al* (1985:49) penurunan pH larutan dapat mengakibatkan penurunan stabilitas kompleks asam humat-logam. Ketika ion logam (Fe^{3+}) berikatan dengan koloid asam humat sebagai ligan, maka ikatan tersebut dapat disebut kompleks asam humat-logam sebelum pembentukan logam hidroksida hasil presipitasi ($Fe(OH)_3$) (Hendricks, 2006:353).

Penurunan stabilitas tersebut dapat menyebabkan pelepasan koloid kembali sehingga prosentase penghilangan warnanya kecil. Hasil terbaik pada pH 6 adalah ketika penambahan koagulan 80 ppm, dengan prosentase penurunan warna sebesar 74,48% dan penurunan kekeruhan sebesar 87,86%.

Hasil koagulasi pada pH 7 dan 8 menunjukkan hasil yang hampir sama baik dari segi penurunan warna maupun penurunan kekeruhan. Hasil terbaik pada pH 7 adalah ketika penambahan koagulan 80 ppm, dengan prosentase penurunan warna sebesar 88,08% dan penurunan kekeruhan sebesar 97,08%. Sama dengan hasil pada pH 8, hasil terbaik dicapai pada konsentrasi koagulan 80 ppm dengan prosentase penurunan warna sebesar 87,41% dan penurunan kekeruhan sebesar 96,18%.

Pada pH lebih dari 6, Proses koagulasi membentuk presipitat berupa senyawa $Fe(OH)_3$. Menurut Crittenden *et al* (2012:548), senyawa tersebut mencapai ZPC (*zero point of charge*) pada pH 8,5. Sesuai dengan konsep ZPC menurut Tan (2011:173), pada nilai pH dibawah nilai ZPC, partikel akan bermuatan positif dan pada nilai pH di atas nilai ZPC, partikel akan bermuatan negatif. Perubahan muatan tersebut dipengaruhi oleh adanya

ion H^+ atau OH^- yang teradsorpsi pada partikel (Tan, 2011:174). Pada rentang pH di bawah ZPC, presipitat logam hidroksida dan polimer hidroksida kation akan lebih dominan, sedangkan diatas ZPC, kompleks hidroksida anion lebih dominan. Pada tahap akhir pembentukan kompleks *polynuclear*, akan terbentuk presipitat ($Fe(OH)_3$) yang dapat menjerap koloid (Hendricks, 2006:310).

Pada saat koagulasi dengan pH 7, presipitat $Fe(OH)_3$ dan polimer hidroksida kation yang terbentuk cenderung bermuatan positif sehingga dapat menjerap koloid yang belum bereaksi dengan koagulan. Oleh karena itu, prosentase penurunan warna menjadi lebih besar karena jumlah koloid yang terjerap lebih banyak. Hampir sama dengan pH 7, senyawa yang terbentuk pada pH 8 adalah presipitat $Fe(OH)_3$ dan polimer hidroksida kation. Akan tetapi, pH larutan mendekati pH ZPC dari $Fe(OH)_3$ yaitu 8,5, sehingga jumlah polimer hidroksida kation yang terbentuk lebih sedikit dan muatan $Fe(OH)_3$ cenderung mendekati netral sehingga proses penjerapan koloidnya tidak lebih baik dari pH 7. Reaksi pembentukan presipitat $Fe(OH)_3$ adalah sebagai berikut (McEwen, 1998:78-79).



Menurut McEwen (1998:79), sebanyak 1 mg/L $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ekuivalen dengan 0,21 mg/L Fe^{3+} dan akan menghasilkan 0,40 mg/L presipitat $Fe(OH)_3$ dengan basis berat kering.

Prosentase penurunan warna pada variabel pH 9 menunjukkan hasil yang lebih kecil daripada pH 8, tetapi lebih besar daripada pH 6. Untuk mencapai pH 9, perlu ditambahkan larutan NaOH 0,1M dengan volume tertentu. NaOH tersebut terionisasi sempurna menjadi Na^+ dan OH^- di dalam sampel. Penambahan ion Na^+ dalam jumlah yang banyak dapat meningkatkan kekuatan ionik dalam larutan sampel. Menurut Boggs *et al* (1985:49), peningkatan kekuatan ion dari larutan dapat mengurangi stabilitasi kompleks asam humat-logam. Adanya ion Na^+ dapat bersifat kompetitif terhadap ion Fe^{3+} sehingga koloid tidak dapat mengikat Fe^{3+} secara maksimal. Ion OH^- yang ditambahkan akan bereaksi dengan ion H^+ yang dimiliki oleh larutan sehingga akan menyebabkan terjadinya reaksi penetralan dan dilanjutkan dengan pembentukan $Fe(OH)_4^-$ yang bersifat larut dengan reaksi sebagai berikut (Hendricks, 2006:314)



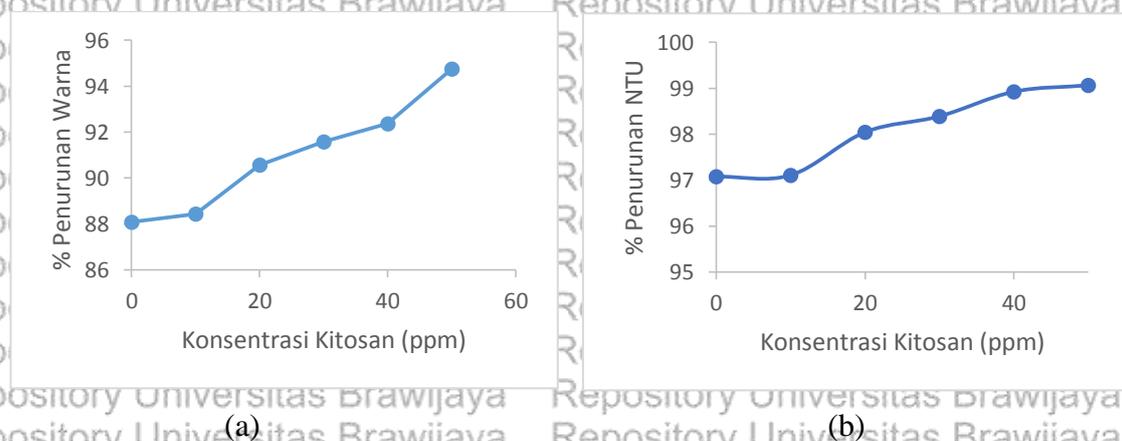
Pada setiap variabel pH, konsentrasi koagulan sebesar 100 ppm menunjukkan adanya penurunan prosentase penghilangan warna maupun kekeruhan. Hal tersebut disebabkan karena jumlah ion Fe^{3+} yang terlalu banyak sehingga dapat menyebabkan *reversal charge* atau perubahan muatan pada koloid. Menurut Liu *et al* (1999), penambahan *counter-ion* pada koloid dapat menurunkan tebal lapisan ganda, tetapi jika terlalu banyak dapat

menyebabkan perubahan muatan karena adsorpsi *counter-ion* sehingga gaya yang bekerja adalah gaya tolak-menolak (*repulsive*).

4.3 Pengaruh Penambahan Kitosan pada Efektivitas Koagulasi

Setelah mengetahui pH serta konsentrasi koagulan terbaik yang menghasilkan prosentase penurunan warna serta kekeruhan yang terbesar, maka penelitian dilanjutkan dengan menggunakan koagulan pendukung yaitu kitosan. Konsentrasi koagulan yang digunakan adalah 80 ppm dan pH larutan sebesar 7.

Gambar 4.7 menunjukkan hasil koagulasi larutan asam humat dengan kombinasi kitosan dan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dengan konsentrasi 80 ppm (pH 7).

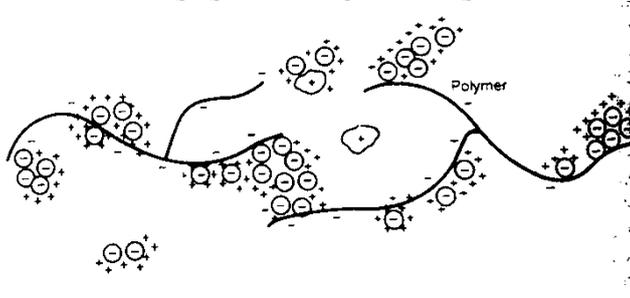


Gambar 4.7. Pengaruh Penambahan Kitosan terhadap (a) Penurunan Warna; (b) Penurunan Kekeruhan (NTU)

Kitosan merupakan polimer kationik alami yang memiliki gugus fungsi berupa gugus amino ($-\text{NH}_2$). Ketika dilarutkan di dalam asam, kitosan akan terprotonasi sehingga gugus aminonya akan berubah menjadi NH_3^+ . Kitosan pada penelitian ini berfungsi sebagai koagulan pendukung sehingga efektivitas koagulasi dapat meningkat dan dapat menghasilkan flok yang lebih stabil. Menurut Crittenden *et al* (2012), mekanisme dari kitosan sebagai koagulan polimer pendukung adalah dengan mekanisme jembatan antar partikel. Pernyataan tersebut didukung oleh Huang (1996:229) bahwa pada pH netral (pH = 7) mekanisme utama yang terjadi jika menggunakan koagulan kitosan adalah pembentukan jembatan antar partikel. Menurut Zeta-Meter (1993), koagulan polimer ini lebih tepat digunakan bersamaan dengan koagulan anorganik karena sifat polimer yang memiliki berat molekul sangat besar. Seluruh agregat yang dihasilkan dari proses koagulasikan membentuk agregat bersifat *amorphous* (Muzzarelli, 1998 dalam Chen, 2008).

Pada pH 7, presipitat yang terbentuk ketika penambahan koagulan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ memiliki muatan yang positif, sedangkan menurut (Davis, 2011:41), kitosan memiliki nilai ZPC pada pH 6,3 sehingga pada pH tersebut kitosan memiliki muatan permukaan yang negatif. Perbedaan muatan tersebut mendorong terbentuknya ikatan antara kitosan dengan presipitat sehingga agregat yang dibentuk lebih padat serta *removal* juga semakin meningkat. Gugus NH_3^+ yang terdapat pada kitosan juga dapat menjerap partikel-partikel koloid yang belum terikat oleh koagulan utama.

Menurut Mangravite (1893) di dalam Hendricks (2006:329), koagulan pendukung dapat menjembatani koloid terdestabilisasi, partikel makroskopik, dan flok. Gambar 4.8 menunjukkan mekanisme aglomerasi (pembentukan agregat) dengan penambahan koagulan garam logam dan koagulan pendukung (polimer).



Gambar 4.8. Aglomerasi pada Koagulasi dengan Koagulan Garam Logam dan Koagulan Polimer Pendukung

Sumber : Hammer (1996:22)

Lingkaran dengan muatan negatif pada Gambar 4.8 menunjukkan koloid, sedangkan yang bermuatan positif adalah ion koagulannya. Polimer digambarkan dengan rantai yang menghubungkan koloid, koagulan serta rantai polimer yang lain.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 (a) dan (b), terjadi peningkatan prosentase penurunan warna maupun kekeruhan seiring dengan penambahan konsentrasi kitosan. Pada Gambar 4.8 (a), hasil tertinggi dicapai dengan penambahan kitosan dengan konsentrasi 50 ppm yaitu sebesar 94,75% atau peningkatan sebesar 6,67%. Pada Gambar 4.8 (b), hasil tertinggi dicapai dengan penambahan kitosan dengan konsentrasi 50 ppm yaitu sebesar 99,07% atau peningkatan sebesar 1,99%. Semakin besar konsentrasi kitosan, maka semakin panjang rantai polimernya sehingga jembatan partikel yang dibentuk oleh kitosan dengan presipitat semakin banyak. Selain itu, koloid terdestabilisasi yang masih bebas serta flok yang telah terbentuk dapat terikat pada polimer kitosan sehingga prosentase penurunan warna maupun kekeruhan mengalami peningkatan.

Hasil prosentase penurunan warna maupun kekeruhan dengan menggunakan kitosan kemudian diuji BNt (Beda Nyata terkecil) yang menyatakan ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan pada setiap perlakuan konsentrasi kitosan. Berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai BNt sebesar 3,404. Ketika dilakukan perbandingan antara selisih rata-rata tiap perlakuan dengan BNt, ditemukan bahwa selisih rata-rata perlakuan 50 ppm kitosan menunjukkan perbedaan yang signifikan karena selisih tersebut lebih besar daripada nilai BNt. Oleh karena itu, penambahan 50 ppm kitosan dianggap menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan penambahan 10-40 ppm kitosan.

Jika dikaitkan dengan standar baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Maka metode yang dikembangkan ini dapat diaplikasikan karena hasil dari proses yang dilakukan telah memenuhi standar. Hasil analisa sebelum dan sesudah proses jika dibandingkan dengan standar baku mutu dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.2. Perbandingan Hasil Air Olahan dengan Standar Baku Mutu

Parameter	Satuan	Air Baku	Hasil Koagulasi		Baku Mutu*
			FeCl ₃ .6H ₂ O	Kombinasi	
pH		6,78 - 7,11	6,72	7,11	6,5 - 8,5
Warna	Pt.Co	5,1 - 4,6	0,532	0,269	15
Kekeruhan	NTU	52,2 - 53,3	2,39	0,47	5

*) Baku mutu yang digunakan berdasarkan: Peraturan Menteri Kesehatan Nomor: 492/menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Penambahan kitosan dalam koagulasi larutan asam humat sintetik menggunakan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai koagulan utamanya, dapat meningkatkan hasil koagulasi, ditandai dengan meningkatnya prosentase penurunan warna dan kekeruhan seiring penambahan dosis kitosan dalam variabel yang ditentukan. Prosentase penurunan warna mengalami kenaikan dari 88,08% menjadi 94,75%, sedangkan prosentase penurunan kekeruhan mengalami kenaikan dari 97,08% menjadi 99,07%.
2. Penambahan kitosan sebesar 50 ppm menunjukkan perbedaan yang signifikan pada prosentase penurunan warna dan kekeruhan, sedangkan pada penambahan sebesar 10-40 ppm dianggap tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

5.2 Saran

1. Penggunaan sampel dengan jenis asam humat p.a
2. Perlu dilakukan pengukuran konsentrasi Besi yang terdapat di dalam larutan baik sebelum dan sesudah proses koagulasi
3. Pemilihan koagulan utama yang lebih ramah lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- Abu Hassan, Mohd. Ariffin, Tan Pei Li, Zainura Zainon Noor. 2009. Coagulation and Flocculation Treatment of Wastewater in Textile Industry usig Chitosan, *Journal of Chemical and Natural Resources Engineering*. Vol 4(1) : 43-53.
- Agus, Fahmuddin dan Suiksa, I.G. Made. 2008. *Lahan Gambut : Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan*. Bogor : Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
- Aiken, George R., Mc. Knight, Diane M., dan Wershaw, Robert L. 1985. *Humic Substances in Soil, Sediment, and Water*. Canada : John Wiley & Sons
- Altaher, Hossam. 2012. The Use of Chitosan as a Coagulant in The Pre-treatment of Turbid Sea Water. *Journal of Hazardous Materials*. 233-234 (2012) 97-102
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. SNI 19-6449-2000. *Metode Pengujian Koagulasi-Flokulasi dengan Cara Jar*. BSN (Badan Standarisasi Nasional)
- Bina, B., M. H. Mehdinejad, M. Nikaeen, dan H. Movahedian Attar. 2009. Effectiveness of Chitosan as Natural Coagulant Aid in Treating Turbid Water. *Iran J. Environmental Health Science Engineering*. Vol. 6, No. 4, Hal. 247-252
- Boggs, Sam Jr., Livermore, David., dan Seitz, Martin G. 1985. *Humic Substances in Natural Waters and Their Complexation With Trace Metals and Radionuclides : A Review*. US : University of Oregon, Eugene, OR
- Borovickova, Marcela. 2005. Chitosan – A New Type of Polymer Coagulant. *Thesis*. Czech Republic : Institute of Chemistry and Technology of Environmental Protection
- Bratby, John. 1980. *Coagulation and Flocculation*. Croydon : Upland Press Ltd.
- Chen, Yo Li. 2008. Preparation and Characterization of Water-Soluble Chitosan Gel For Skin Hydration. *Thesis*. Malaysia : Universiti Sains Malaysia
- Crittenden, John C., Trussell, Rhodes R., Hand, David W., Howe, Kerry J. dan Tchobanoglous, George. 2012. *MWH's Water Treatment : Principles and Design* 3rd Edition. New Jersey : John Wiley and Sons
- Davis, Samuel P. 2011. *Chitosan : Manufacture, Properties, and Usage*. New York : Nova Science Publishers

Dutta, P.K., Dutta, J. & Tripathi, V.S. 2004. Chitin and Chitosan: Chemistry, Properties and Applications. *Journal of Scientific & Industrial Research*. Vol. 63, January 2004, pp 20-31

Duursma, E. K. dan Rawson, R. 1981. *Marine Organic Chemistry : Evolution, Composition, Interactions, and Chemistry of Organic Matter in Seawater*. Netherlands : Elsevier Scientific Publishing Company

Gozan, M. dan Wulan, P. P. D. K. 2011. Design of Precipitation System for the Removal of Total Suspended Solids, Turbidity and Mineral Content from Coal Processing Plant Wasterwater. *Research Journal of Chemical Science*. Vol. 1(5), 40-47

Greenberg, Arnold E., Clesceri, Arnold E., dan Eaton, Andrew D. 1992. *Standard Method for The Examination of Water and Wastewater* 18th Edition. USA : AWWA

Hammer, Mark J. dan Hammer, Mark J. Jr. 1996. *Water and Wastewater Technology*. USA : Prentice Hall, Inc.

Hendricks, D. W. 2006. *Water Treatment Unit Process : Physical and Chemical*. USA : CRC Taylor & Francis Group

Hesami, Farid., Bijan, Bina, dan Ebrahimi, Afshin. 2013. The Effectiveness of Chitosan as Coagulant Aid in Turbidity Removal from Water. *International Journal of Environmental Health Engineering*. Vol. 2, No. 6

Huang, Chihpin dan Chen, Yin. 1996. Coagulation of Colloidal Particles in Water by Chitosan. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* Vol. 66, Hal. 227-232

Irianto. 1998. *Kinetika Penurunan Warna dan Zat Organik Air Gambut Menggunakan Tanah Lempung Gambut dengan Sistem Batch*. Penelitian Puslitbang Pemukiman bekerjasama dengan PAU ITB

Kalut, Stephenie K. 2008. *Enhancement Degree of Deacetylation of Chitin in Chitosan Production*. Thesis. Malaysia : Universiti Malaysia Pahang

Khan, Tanveer Ahmad; Peh, Kok Kiang; dan Ch'ng Hung Seng. 2002. Reporting Degree of Deacetylation Values of Chitosan : The Influence of Analytical Methods. *Journal of Pharmaceutical Science*. Vol. 5, No. 3. Hal. 205-212

Kusnaedi. 2006. *Mengolah Air Gambut dan Kotor untuk Air Minum*. Jakarta : Penebar Swadaya

Lesbani, Aldes dan Badaruddin, Muhammad. 2012. Karakterisasi Asam Humat dari Tanah Gambut Muara Kuang Kabupaten Ogan Ilir. *Majalah Ilmiah Sriwijaya*. Vol. XXI, No. 14



Letterman, Raymond D. 1999. *Water Quality and Treatment : A Handbook of Community Water Supplies* 5th Edition. USA : Mc. Graw Hill

Libeck, B dan Dziejowski, J. 2008. Optimization of Humic Acids Coagulation with Aluminium and Iron (III) Salts. *Polish Journal of Environmental Study*. Vol. 17, No. 3. 397-403

Liu, David H. F. dan Lipták, Béla G. 1999. *Wastewater Treatment*. US : CRC Press

Martono, Andriani. 1991. *Buku Panduan Air dan Sanitasi PD II*. Jakarta : Pusat Informasi Wanita Dalam Pembangunan, PDH –LIPI

McCabe, Warren L., Smith, Julian C., dan Harriott, Peter. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering*. USA : Mc Graw Hill

Metcalf & Eddy Inc. 2003. *Wastewater Engineering : Treatment and Reuse (Fourth Edition)*. McGraw-Hill Companies, Inc.

Nastiti, Yulia., Daud, Syarfi., Herman, Syamsu. 2015. *Penyisihan Warna, Zat Organik dan Kekeruhan pada Air Gambut dengan Kombinasi Proses Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Koagulan Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$) dan Membran Ultrafiltrasi*. Riau: Universitas Riau

National Biochemicals Corporation (NBC). 2010. *Ferric Chloride*. USA : NBC

Neto, José de O. Marques; Carlos R. Bellato; Jaderson L. Milagres; Kenia D. Pessoa; dan Elson S. de Alvarenga. 2013. Preparation and Evaluation of Chitosan Beads Immobilized with Iron (III) for the Removal of As(III) and As(V) from Water. *Journal of Brazilian Chemistry Soc*. Vol. 24, No. 1

Nunsubuga, Irene; Noble Banadda, Mohammed Babu, Willy Verstraete, dan Tom Van de Wiele. 2013. Effect of Polyaluminium Chloride Water Treatment Sludge on Effluent Quality of Domestic Wastewater Treatment. *African Journal of Environmental Science and Technology*. Vol. 7(4), Hal. 145-152

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (Puslitbang SDA). 1995. *Instalasi Pengolahan Air Gambut untuk Penyediaan Air Bersih*. Bandung : Puslitbang

Rahman, Mohammad Arifur; Hasan, Md. Abu; Rahim, Abdur, dan Alam, A. M. Shafiqul. 2010. Charazterization of Humic Acid from the River Bottom Sediments of Buringonga: Complexation Studies of Metals with Humic Acid. *Pakistan Journal of Analytic Environmental Chemistry* Vol. 11, No. 1, Hal. 42-52

Ramli, Siti Fatimah dan Aziz, Hamidi Abd. 2015. Use of Ferric Chloride and Chitosan as Coagulant to Remove Turbidity and Color from Landfill Leachate. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 773-774, Hal. 1163-1167



Renault, F., B. Sancey., P.-M. Badot. Dan G. Crini. 2009. Review Article : Chitosan for Coagulation/Flocculation Processes – An Eco Friendly Approach. *European Polymer Journal*, Vol. 45, Hal. 1337-1348

Republik Indonesia. 1990. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia*. Jakarta : Sekretariat Negara

Reynolds, Ton D. dan Richards, Paul A. 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, 2nd Edition. Boston : PWS Publishing Co.

Sawyer, Clair N., McCarty, Perry L., dan Parkin, Gene F. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science* 5th Edition. USA ; Mc Graw Hill

Silverstein, Robert M., Francis X. Webster dan David J. Kiemle. 2005. *Spectrometric Identification of Organic Compounds* 7th Edition. New York : State University of New York

SNF Floerger. 2003. *Coagulation Flocculation*. France : SNF Floerger

Spellman, Frank R. 2009. *Handbook of Water and Wasterwater Treatment Plant Operations*. US : CRC Press

Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry : Genesis, Composition, Reaction*. Canada : John Wiley and Sons, Inc.

Sutapa, Ignasius D.A. 2010. *Kajian Jar Test Koagulasi Flokulasi sebagai Dasar Perancangan Instalasi Pengolahan Air Gambut (IPAG) menjadi Air Bersih*. Cibinong: LIPI

Syarfi, Syamsu Herman. 2007. Rejeksi Zat Organik Air Gambut dengan Membran Ultrafiltrasi. *Jurnal Sains dan Teknologi* Vol. XII, Hal. 9-14

Tan, Kim H. 2003. *Humic Matter in Soil and The Environment*. USA : Marcel Dekker, Inc.

Tan, Kim H. 2011. *Principle of Soil Chemistry*, 4th Edition. USA : CRC Press (Taylor & Francis Group)

Tilstone, William J., Kathleen A Savage, dan Leigh A. Clark. 2006. *Forensic Science : An Encyclopedia of History, Methods, and Techniques*. California : ABC-CLIO

Tipping, Edward. 2004. *Cation Binding by Humic Substances*. UK : Cambridge University Press

Tjahjono. 2007. *Kajian Potensial Endapan Gambut Indonesia Berdasarkan Aspek Lingkungan*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral





Tripathy, Tridib dan De, Bhudeb Ranjan. 2006. Flocculation : A New Way to Treat the Waste Water. *Journal of Physical Sciences*. Vol.10

Wang, Lawrence K., Yung-Tse Hung dan Nazih K. Shammas. 2007. *Handbook of Environmental Engineering : Physicochemical Treatment Process*. New Jersey : Humana Press

Wei-Ching, Hsiao, Tanaka Theodore S., Elimelech, Menachem. 1993. Dynamics of Coagulation of Kaolin Particles with Ferric Chloride. *Journal of Water Resources*. Vol.28, No. 3, Hal. 559-569

Zeta-Meter. 1993. *Everything you want to know about Coagulation ad Flocculation*. Virginia : Zeta-Meter

Zouboulis, A.I., Chai, X. L., dan Katsoyiannis, I. A. 2004. The Application of Bioflocculant for the Removal of Humic Acids from Stabilized Landfill Leachate. *Environmental Management Journal*. Vol. 70, Hal. 35-41



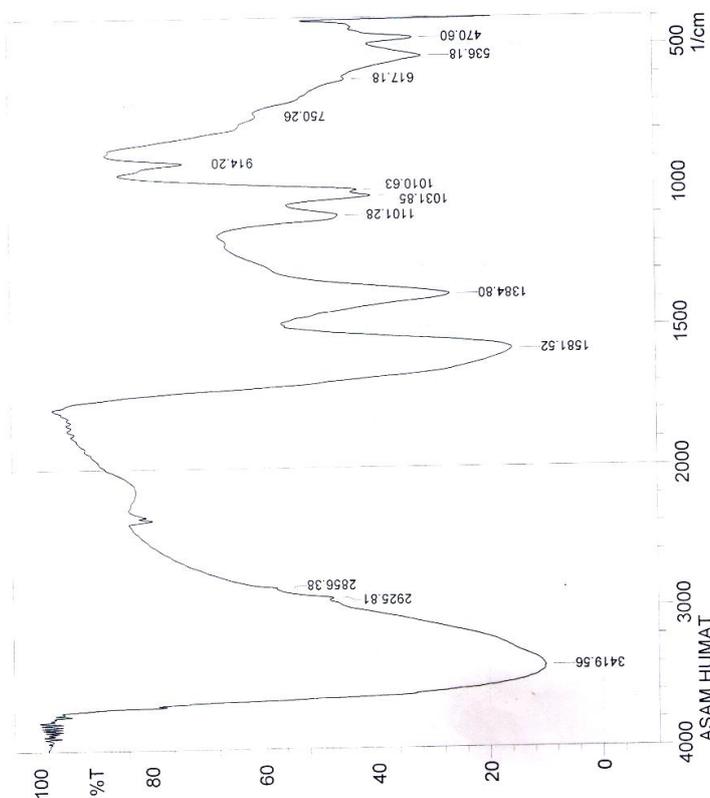
LAMPIRAN 1

HASIL PENGUJIAN ASAM HUMAT DAN KITOSAN

Hasil FT-IR Asam Humat

SHIMADZU

Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are	
1	470.6	32.577	9.39	491.82	441.67	21.201	2.437
2	536.18	31.002	11.319	607.54	493.75	48.167	6.217
3	617.18	44.745	1.355	736.76	609.47	36.237	0.556
4	750.26	60.51	3.08	867.91	736.76	20.92	2.747
5	914.2	73.45	12.69	952.77	881.41	6.604	1.945
6	1010.63	42.717	6.016	1018.35	952.77	13.459	-0.587
7	1031.85	40.243	6.979	1064.54	1018.35	15.356	1.123
8	1101.28	46.147	13.16	1170.71	1066.56	26.984	4.66
9	1384.8	26.414	33.515	1485.09	1211.22	88.259	29.621
10	1581.52	15.41	52.028	1785.96	1500.52	123.613	85.286
11	2856.38	57.501	0.299	2860.24	2393.5	59.634	0.016
12	2925.81	47.643	2.294	2939.32	2862.17	21.436	0.368
13	3419.56	10	1.119	3431.13	2941.24	318.529	6.187



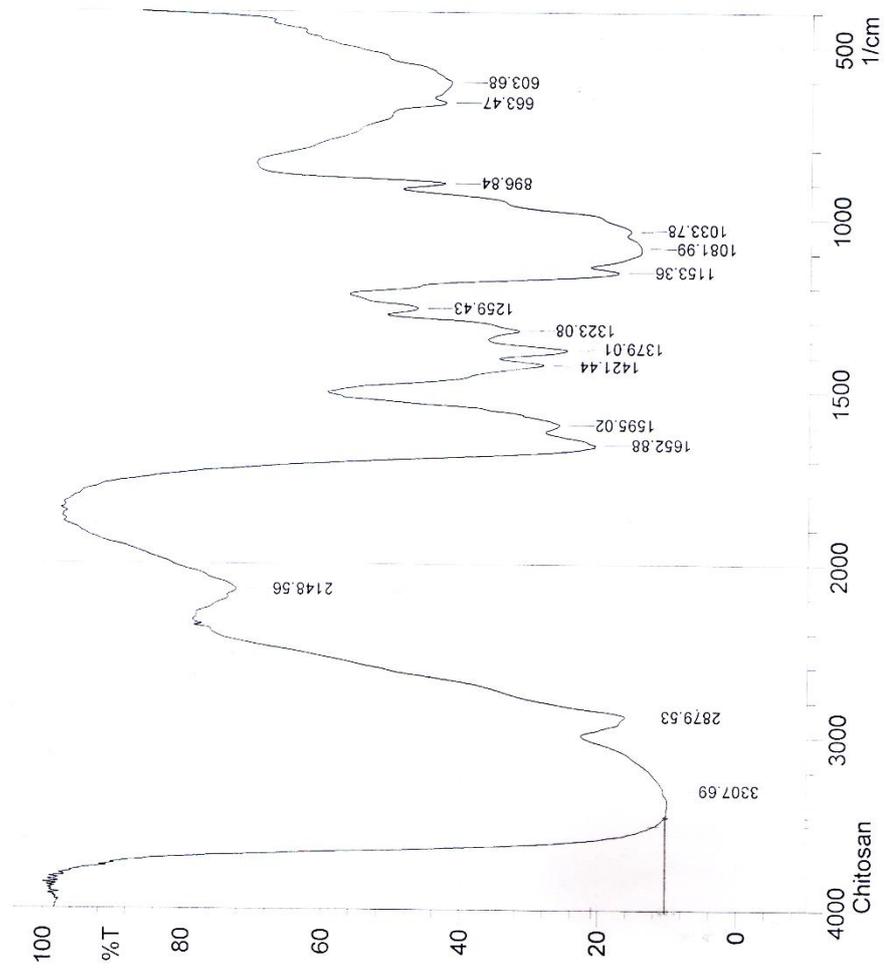
Date/Time: 7/21/2016 10:59:21 AM
 No. of Scans: 10
 Resolution: 4.0
 User: Kimia FMIPA-UB

Comment:
 ASAM HUMAT

Hasil FT-IR Kitosan

SHIMADZU

Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	603.68	41.974	648.04	476.39	54.944	6.415
2	663.47	42.748	838.98	649.97	48.284	0.646
3	896.84	42.821	914.2	840.91	17.914	0.832
4	1033.78	15.861	1045.35	914.2	77.379	6.006
5	1081.99	14.411	1085.85	1047.28	31.631	0.342
6	1153.36	17.588	1217	1137.93	39.423	3.367
7	1259.43	46.64	1276.79	1217	17.512	1.363
8	1323.08	31.904	1348.15	1278.72	29.772	4.513
9	1379.01	24.905	1402.16	1350.08	27.194	3.843
10	1421.44	28.347	1500.52	1404.08	38.871	5.718
11	1595.02	26.025	1614.31	1515.95	45.629	6.815
12	1652.88	20.753	1822.61	1616.24	56.773	10.277
13	2148.56	72.327	2181.34	1878.54	27.793	5.979
14	2879.53	16.213	2987.53	2387.71	255.65	32.237
15	3307.69	10.595	3317.34	2989.46	274.918	9.933



Date/Time: 8 Juni 2016/ 8:03 AM
 No. of Scans: 10
 Resolution: 4.0
 User: Kimia FMIPA-UB

Comment:
 Chitosan

Hasil Uji Warna (Pt-Co) larutan asam humat



JASA TIRTA I

LABORATORIUM LINGKUNGAN

Jl. Surabaya 2A Malang 65115, Indonesia. Telp. (0341) 551971, Fax. (0341) 551976
Desa Lengkong Kec. Mojoanyar-Mojokerto, Indonesia Telp. (0321) 331860, Fax. (0321) 333370
E-mail : laboratoriumjasatirta1@yahoo.co.id



SERTIFIKAT CERTIFICATE

Nomor : 3547 S/LKA MLG/VIII/2016

IDENTITAS PEMILIK

Owner Identity

Nama : **Belda Amelia J**
Name

Alamat : **Jl. Veteran Malang**
Address

IDENTITAS CONTOH UJI

Sample Identity

Kode Contoh Uji : **Ext. 363 - 367 /PC/VII/2016/ 375 - 379**
Sample Code

Jenis Contoh Uji : **Sampel Buatan**
Type Sample

Lokasi Pengambilan Contoh Uji : **Malang**
Sampling Location

Petugas Pengambilan Contoh Uji : **-**
Sampling Done By

Tgl/Jam Pengambilan Contoh Uji : **-**
Date Time of Sampling

Tgl/Jam Penerimaan Contoh Uji : **20 Juli 2016** Jam : **14 : 30 WIB**
Date Time of Sample Received in Laboratory

Kondisi Contoh uji : **Belum dilakukan pengawetan**
Sample Condition (s)

HASIL ANALISA

Result of Analysis

Terlampir
Enclosed



Diterbitkan Di/Tanggal :
Place / Date of Issue

Malang, 03 Agustus 2016

Laboratorium Lingkungan
Perum Jasa Tirta I

Pengambilan sampel dilakukan oleh Belda Amelia J
Tanggal, 20 Juli 2016

Rifa Churnia Purwanti
Manajer Laboratorium
Manager of Laboratory

Sertifikat atau laporan ini hanya berlaku pada contoh uji di atas dan dilarang memperbanyak dan atau mempublikasikan isi sertifikat ini tanpa izin dari
Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I

This Certificate or report is valid just for sample mentioned above and shall not be reproduced and or published without any approval from
Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

This Certificate or report is valid after being stamped by Water Quality Laboratory of Jasa Tirta I Public Corporation

LAMPIRAN 2 PERHITUNGAN DAN DATA

2.1 Perhitungan Konsentrasi Larutan Asam Humat

Konsentrasi larutan asam humat yang diinginkan = 90 ppm

Volume larutan yang akan dibuat = 1000 mL

Sehingga, untuk mendapatkan larutan asam humat dengan konsentrasi tersebut dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi (ppm)} = \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$90 \text{ ppm} = \frac{90 \text{ mg}}{1 \text{ L}}$$

$$90 \text{ ppm} = \frac{90 \text{ mg}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$$

$$90 \text{ ppm} = \frac{0,09 \text{ g}}{1000 \text{ mL}}$$

2.2 Perhitungan Konsentrasi Larutan Induk Koagulan Utama ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Konsentrasi larutan asam humat yang diinginkan = 100 ppm

Volume larutan yang akan dibuat = 100 mL

Sehingga, untuk mendapatkan larutan induk koagulan utama dengan konsentrasi tersebut dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi (ppm)} = \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$100 \text{ ppm} = \frac{100 \text{ mg}}{1 \text{ L}}$$

$$100 \text{ ppm} = \frac{100 \text{ mg}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$$

$$100 \text{ ppm} = \frac{0,1 \text{ g}}{1000 \text{ mL}} \cdot \frac{10}{10}$$

$$100 \text{ ppm} = \frac{0,01 \text{ g}}{100 \text{ mL}}$$

Dari larutan induk tersebut, diencerkan kembali hingga didapatkan konsentrasi koagulan sesuai dengan variabel yang ditentukan.

Variabel konsentrasi = 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm

Volume koagulan = 10 mL

Untuk mendapatkan konsentrasi yang diinginkan, maka dilakukan perhitungan menggunakan rumus pengenceran sebagai berikut :

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

Dimana,

M_1 = konsentrasi larutan induk

V_1 = volume yang diambil

M_2 = konsentrasi yang diinginkan

V_2 = volume yang diinginkan

Perhitungan pengenceran yang dilakukan sebagai berikut :

- Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 20 ppm, 10 mL

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$100 \text{ (ppm)} \times V_1 = 20 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[20 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{100 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 2 \text{ (mL)}$$

- Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 40 ppm, 10 mL

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$100 \text{ (ppm)} \times V_1 = 40 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[40 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{100 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 4 \text{ (mL)}$$

- Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 60 ppm, 10 mL

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$100 \text{ (ppm)} \times V_1 = 60 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[60 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{100 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 6 \text{ (mL)}$$

- Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 80 ppm, 10 mL

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$100 \text{ (ppm)} \times V_1 = 80 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[80 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{100 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 8 \text{ (mL)}$$



Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 100 ppm, 10 mL

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$100 \text{ (ppm)} \times V_1 = 100 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[100 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{100 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 10 \text{ (mL)}$$

2.3 Perhitungan Derajat Deasetilasi Kitosan (DD)

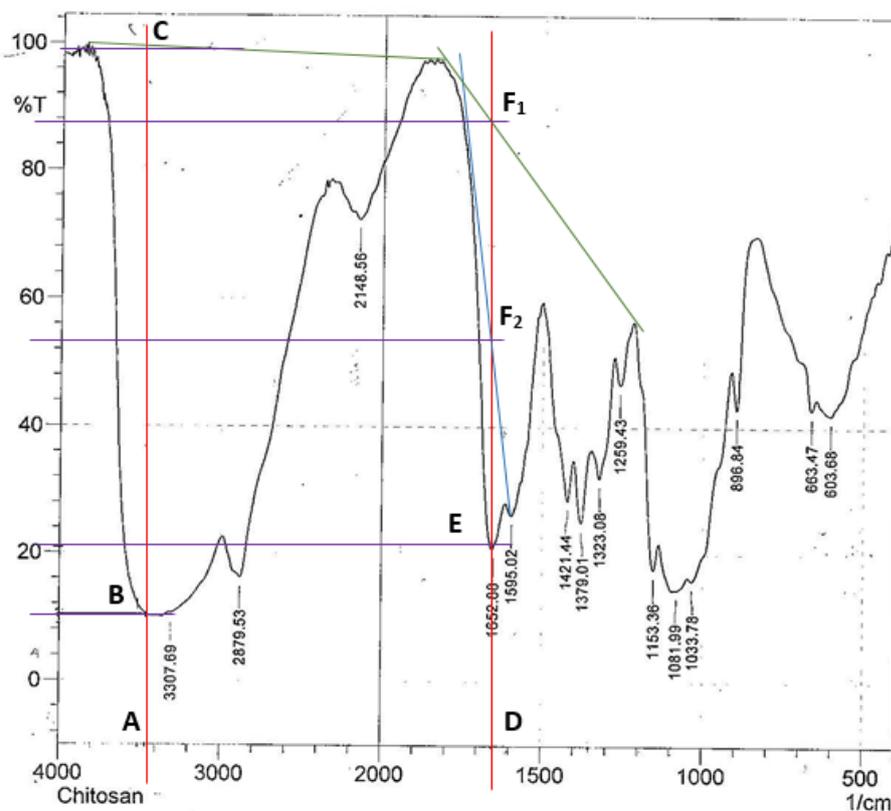
Perhitungan DD kitosan dilakukan secara kualitatif berdasarkan rumus pada Khan *et al* (2002). Terdapat dua metode pengukuran, yaitu dengan menggunakan *baseline a* dan *baseline b*. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$DD = 100 - \left[\frac{A_{1655} \times 100}{A_{3450} \times 1,33} \right] \quad (\text{baseline a})$$

$$\text{dimana } A_{1655} = \log \frac{DF_1}{DE} \quad \text{dan} \quad A_{3450} = \log \frac{AC}{AB}$$

$$DD = 100 - \left[\frac{A_{1655} \times 115}{A_{3450}} \right] \quad (\text{baseline b})$$

$$\text{dimana } A_{1655} = \log \frac{DF_2}{DE} \quad \text{dan} \quad A_{3450} = \log \frac{AC}{AB}$$





72

$$AC = 99$$

$$AB = 10$$

$$DE = 21$$

$$DF_1 = 87$$

$$DF_2 = 52$$

Perhitungan untuk *baseline a*

$$A_{1655} = \log \frac{87}{21} = 0,6173$$

$$A_{3450} = \log \frac{99}{10} = 0,9956$$

$$DD = 100 - \left[\frac{0,6173}{0,9956} \times \frac{100}{1,33} \right]$$

$$= 53,383\%$$

Perhitungan untuk *baseline a*

$$A_{1655} = \log \frac{52}{21} = 0,3938$$

$$A_{3450} = \log \frac{99}{10} = 0,9956$$

$$DD = 100 - \left[\frac{0,3938}{0,9956} \times 115 \right]$$

$$= 54,516\%$$

Nilai perhitungan DD dengan menggunakan *baseline a* lebih besar daripada *baseline b*.

2.4 Perhitungan Konsentrasi Larutan Induk Koagulan Pendukung (Kitosan)

Konsentrasi larutan asam humat yang diinginkan = 10000 ppm

Volume larutan yang akan dibuat = 100 mL

Sehingga, untuk mendapatkan larutan induk koagulan pendukung dengan konsentrasi tersebut dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Konsentrasi (ppm)} = \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$10000 \text{ ppm} = \frac{10000 \text{ mg}}{1 \text{ L}}$$

$$10000 \text{ ppm} = \frac{10000 \text{ mg}}{1 \text{ L}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}}$$

$$10000 \text{ ppm} = \frac{10 \text{ g}}{1000 \text{ mL}} : \frac{10}{10}$$

$$10000 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ g}}{100 \text{ mL}}$$

Dari larutan induk tersebut, diencerkan kembali hingga didapatkan konsentrasi koagulan sesuai dengan variabel yang ditentukan.

Variabel konsentrasi = 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm

Volume koagulan = 10 mL

Untuk mendapatkan konsentrasi yang diinginkan, maka dilakukan perhitungan menggunakan rumus pengenceran sebagai berikut :

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

Dimana,

M1 = konsentrasi larutan induk

V1 = volume yang diambil

M2 = konsentrasi yang diinginkan

V2 = volume yang diinginkan

Perhitungan pengenceran yang dilakukan sebagai berikut :

- Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 10 ppm, 10 mL

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$10000 \text{ (ppm)} \times V_1 = 10 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[10 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{10000 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 0,01 \text{ (mL)}$$

- Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 20 ppm, 10 mL

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$10000 \text{ (ppm)} \times V_1 = 20 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[20 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{10000 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 0,02 \text{ (mL)}$$

- Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 30 ppm, 10 mL

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$10000 \text{ (ppm)} \times V_1 = 30 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[30 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{10000 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 0,03 \text{ (mL)}$$

- Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 40 ppm, 10 mL

$$M_1V_1 = M_2V_2$$



$$10000 \text{ (ppm)} \times V_1 = 40 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[40 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{10000 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 0,04 \text{ (mL)}$$

Pembuatan larutan koagulan dengan konsentrasi 50 ppm, 10 mL

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$10000 \text{ (ppm)} \times V_1 = 50 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}$$

$$V_1 = \frac{[50 \text{ (ppm)} \times 10 \text{ (mL)}]}{10000 \text{ (ppm)}}$$

$$V_1 = 0,05 \text{ (mL)}$$

2.5 Data Hasil Penelitian

2.5.1 Pengukuran Derajat Keasaman (pH)

Tabel Hasil Pengukuran pH Koagulasi Pertama

No	pH awal	pH koagulasi	pH akhir	Kons. Koagulan (ppm)
1			6,7	20
2	6,72		6,62	40
3		6	6,59	60
4			6,53	80
5	6,77		6,38	100
6			6,68	20
7	6,78		6,69	40
8		7	6,71	60
9			6,72	80
10	6,77		7,23	100
11			7,66	20
12			7,67	40
13	6,8	8	7,67	60
14			7,73	80
15	6,77		7,36	100
16			7,97	20
17			7,97	40
18	6,75	9	8,02	60
19			7,72	80
20	6,77		7,51	100

Tabel Hasil Pengukuran pH Koagulasi Kedua

No	pH awal	pH koagulasi	pH akhir	Kons. Kitosan (ppm)
1			7.1	10
2			7.18	20
3	6.99		7.07	30
4			6.99	40
5	6.78		7.11	50

Keterangan :

Koagulasi Pertama : Tahap penentuan pH dan konsentrasi maksimum $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Koagulasi Kedua : Tahap penentuan pengaruh penambahan kitosan

2.5.2 Pengukuran Absorbansi dan Warna

Tabel Hasil Pengukuran Absorbansi dan Warna Koagulasi Pertama

No	Kons. Koagulan (ppm)	pH koagulasi	Absorbansi		Warna		% penurunan
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	20			0,266		1,46	70,61
2	40		0,905	0,258	4,96	1,41	71,49
3	60	6		0,259		1,42	71,38
4	80			0,231		1,27	74,48
5	100		0,914	0,236	5,01	1,29	74,18
6	20			0,118		0,65	85,50
7	40		0,814	0,110	4,46	0,60	86,49
8	60	7		0,103		0,56	87,35
9	80			0,097		0,53	88,08
10	100		0,914	0,123	5,01	0,67	86,54
11	20			0,142		0,78	83,90
12	40		0,882	0,133	4,84	0,73	84,92
13	60	8		0,118		0,65	86,62
14	80			0,111		0,61	87,41
15	100		0,914	0,124	5,01	0,68	86,43
16	20			0,151		0,83	83,17
17	40		0,897	0,151	4,92	0,83	83,17
18	60	9		0,139		0,76	84,50
19	80			0,138		0,76	84,62
20	100		0,914	0,148	5,01	0,81	83,81

Tabel Hasil Pengukuran Absorbansi dan Warna Koagulasi Kedua

No	Kons. Koagulan (ppm)	pH koagulasi	Absorbansi		Warna		% penurunan
			Awal	Akhir	Awal	Akhir	
1	0		0,814	0,097	4,46	0,53	88,08
2	10			0,103		0,56	88,44
3	20			0,084		0,46	90,57
4	30	7	0,891	0,075	4,89	0,41	91,58
5	40			0,068		0,37	92,37
6	50		0,934	0,049	5,12	0,27	94,75

Keterangan :

Koagulasi Pertama : Tahap penentuan pH dan konsentrasi maksimum $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Koagulasi Kedua : Tahap penentuan pengaruh penambahan kitosan

Tabel Pembuatan Kurva Standar

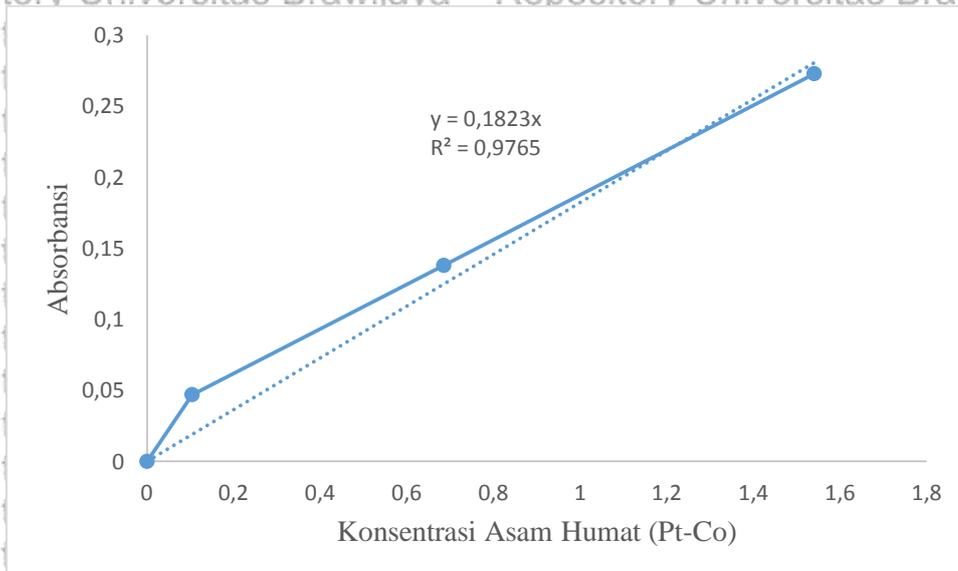
Kons	Abs	Pt.Co
0	0	0
5	0.047	0.104
10	0.138	0.685
20	0.273	1.54

Pada perhitungan nilai intensitas warna digunakan persamaan dibawah ini:

$$y = 0,1823 x$$

Dimana, x = konsentrasi larutan standar Pt.Co, sedangkan y = absorbansi

Persamaan tersebut diperoleh dari sebuah kurva standar larutan Pt.Co yang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar Kurva Standar Larutan Pt.Co

Salah satu contoh perhitungan konversi absorbansi menjadi Pt.Co dengan persamaan di atas yaitu :

- Absorbansi pada konsentrasi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 80 ppm, pH 7

Absorbansi awal = 0,814

$y = 0,1823 \cdot x$

$0,814 = 0,023 \cdot x$

$x = 0,814 / 0,1823$

$x = 4,465 \text{ Pt.Co}$

Setelah didapatkan data Pt.Co sebelum dan sesudah koagulasi, dilanjutkan dengan perhitungan prosentasi penurunan warna sampel seperti berikut :

$$\% \text{ penurunan warna} = \frac{(\text{Pt.Co}_{\text{awal}} - \text{Pt.Co}_{\text{akhir}})}{\text{Pt.Co}_{\text{awal}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ penurunan warna} = \frac{(4,465 - 0,532)}{4,465} \times 100\% = 88,08\%$$

2.5.3 Pengukuran Kekeruhan

Tabel Hasil Pengukuran Kekeruhan Koagulasi Pertama

No	pH	Kons. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (ppm)	Nilai NTU		% Pengurangan
			Awal	Akhir	
1		20		6,97	86,06
2		40		6,74	86,52
3	6	60	50,0	6,65	86,70
4		80		6,07	87,86
5		100	52,1	6,38	87,75
6		20		2,39	95,52
7		40		1,99	96,27
8	7	60	53,3	1,72	96,77
9		80		1,56	97,08
10		100	52,1	2,27	95,64
11		20		2,78	94,49
12		40		2,64	94,77
13	8	60	50,5	2,23	95,58
14		80		1,93	96,18
15		100	52,1	2,3	95,56
16		20		3,12	94,01
17		40		2,91	94,41
18	9	60	52,1	2,45	95,29
19		80		2,29	95,60
20		100	52,1	2,36	95,47

Tabel Hasil Pengukuran Kekeruhan Koagulasi Kedua

No	Kons. Kitosan (ppm)	pH koagulasi	Nilai NTU		% Pengurangan
			Awal	Akhir	
1	0		53,3	2,39	97,08
2	10			1,57	97,11
3	20	7		1,02	98,05
4	30		52,2	0,84	98,39
5	40			0,56	98,93
6	50		50,4	0,47	99,07

Keterangan :

Koagulasi Pertama : Tahap penentuan pH dan konsentrasi maksimum $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Koagulasi Kedua : Tahap penentuan pengaruh penambahan kitosan

Setelah didapatkan data turbiditas sebelum dan sesudah koagulasi, dilanjutkan dengan perhitungan prosentasi penurunan kekeruhan sampel seperti berikut :

$$\% \text{ penurunan kekeruhan} = \frac{(NTU_{awal} - NTU_{akhir})}{NTU_{awal}} \times 100\%$$

$$\% \text{ penurunan kekeruhan} = \frac{(53,3 - 1,57)}{53,3} \times 100\% = 97,079\%$$

2.6 Analisa Bnt (Beda Nyata terkecil)

Untuk mengetahui nilai Bnt, pertama-tama harus dilakukan uji Anova terlebih dahulu.

Data yang digunakan adalah sebagai berikut :

Kons. Koagulan	Penurunan Warna (%)	Penurunan Kekeruhan (%)	Rata-rata (\bar{X})
0	88.08	97.08	92.58
10	88.44	97.11	92.77
20	90.57	98.05	94.31
30	91.58	98.39	94.98
40	92.37	98.93	95.65
50	94.75	99.07	96.91

Nilai Bnt didapatkan dari persamaan berikut ini

$$Bnt_{\alpha} = (t_{\alpha, dfe}) \cdot \sqrt{\frac{2(MS_E)}{r}}$$

Berdasarkan uji anova pada Microsoft Excel, didapatkan hasil yang dapat digunakan untuk menghitung Bnt, yaitu sebagai berikut :

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	152.9388	1	152.9388	43.36217	0.0000619	4.964603
Within Groups	35.2701	10	3.52701			
Total	188.2089	11				

Dimana nilai MS_E adalah 3,52701 dan nilai df_e adalah 10. Nilai α adalah persen signifikan yang diharapkan yaitu 0,95 sedangkan r adalah banyaknya replikasi. Pada penelitian ini jumlah replikasi ada 2, yaitu untuk warna dan kekeruhan. Data-data tersebut kemudian dimasukkan ke dalam rumus BNT.

$$BNT_{\alpha} = (t_{0,95,10}) \sqrt{\frac{2(3,52701)}{2}}$$

$$BNT = 3,404$$

$$|\bar{X}_1 - \bar{X}_2| \leq LSD_{\alpha} = \text{Tidak Berbeda Signifikan}$$

Untuk mengetahui apakah data penurunan warna dan kekeruhan signifikan atau tidak, maka harus dilakukan perbandingan antara selisih rata-rata tiap perlakuan konsentrasi seperti pada Tabel berikut ini.

Selisih tiap perlakuan	Nilai Selisih	Signifikansi
$\bar{X}_{10} - \bar{X}_0$	0,195	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{20} - \bar{X}_0$	1,73	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{30} - \bar{X}_0$	2,405	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{40} - \bar{X}_0$	3,07	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{50} - \bar{X}_0$	4,33	Berbeda signifikan
$\bar{X}_{20} - \bar{X}_{10}$	1,535	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{30} - \bar{X}_{10}$	2,21	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{40} - \bar{X}_{10}$	2,875	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{50} - \bar{X}_{10}$	4,135	Berbeda signifikan
$\bar{X}_{30} - \bar{X}_{20}$	0,675	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{40} - \bar{X}_{20}$	1,34	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{50} - \bar{X}_{20}$	2,6	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{40} - \bar{X}_{30}$	0,665	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{50} - \bar{X}_{30}$	1,925	Tidak berbeda signifikan
$\bar{X}_{50} - \bar{X}_{40}$	1,26	Tidak berbeda signifikan

Berdasarkan hasil analisa BNT tersebut, ditemukan bahwa signifikansi terlihat pada perlakuan konsentrasi koagulan sebesar 50 ppm karena selisih dari rata-ratanya lebih besar daripada nilai BNT.

2.7 Kesimpulan Hasil Penelitian Dibandingkan dengan Standar Baku Mutu

Tabel Kesimpulan Hasil Penelitian

Parameter	Satuan	Air Baku	Hasil Koagulasi		Baku Mutu*
			FeCl ₃ ·6H ₂ O	Kombinasi	
pH	-	6,78 – 7,11	6,72	7,11	6,5 - 8,5
Warna	Pt.Co	5,1 – 4,6	0,532	0,269	15
Kekeruhan	NTU	52,2 - 53,3	2,39	0,47	5

*) Baku mutu yang digunakan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor: 492/menkes/Per/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum





LAMPIRAN 3
DOKUMENTASI PENELITIAN

No	Dokumentasi	Kegiatan
1.		Pembuatan larutan sintetik asam humat 90 ppm
2.		Pembuatan larutan baku $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 100 ppm
3.		Pembuatan larutan baku kitosan 10.000 ppm

No.	Dokumentasi	Kegiatan
4.	<p>a. </p> <p>b. </p>	<p>Koagulasi dengan <i>jar test</i> :</p> <p>a. Koagulasi dengan menggunakan 20-80 ppm $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ pada pH 7 (setelah pengadukan lambat)</p> <p>b. Hasil koagulasi setelah didiamkan selama 2 jam</p>
5.	<p>a. </p> <p>b. </p>	<p>Koagulasi dengan <i>jar test</i> :</p> <p>a. Koagulasi dengan menggunakan 80 ppm $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan 10-40 ppm kitosan pada pH 7 (setelah pengadukan lambat)</p> <p>b. Hasil koagulasi setelah didiamkan selama 2 jam</p>





6.		Pengukuran pH sampel
----	---	----------------------

No.	Dokumentasi	Kegiatan
7.		Pengukuran absorbansi sampel dengan spektrofotometri UV-Vis

8.		Pengukuran turbiditas sampel dengan turbidimeter
----	---	--



LAMPIRAN 4 RIWAYAT HIDUP

Belda Amelia Junisu, Malang 27 Juni 1995, anak dari A. Budi dan Wiji Astutik, lulus dari SD Negeri Kasin, SMP Negeri 3 Malang, SMA Negeri 3 Malang, lulus program sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2016. Pengalaman kerja sebagai asisten praktikum Kimia Organik di Laboratorium Sains Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2014. Salah satu mahasiswa yang membantu proyek pengabdian masyarakat untuk produk *lotion* dan minyak angin berbasis minyak nilam di Kesamben, Blitar pada tahun 2014 dan proyek penelitian untuk pembuatan lapisan aerogel berbasis Natrium Silikat pada tahun 2015. Praktek Kerja Lapangan di PT. Petrokimia Gresik Pabrik I Unit ZA tahun 2015. Pengalaman kerja sebagai asisten praktikum Kimia Analisis di Laboratorium Sains Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2016.

Malang, Agustus 2016

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Evi Handayani, Malang 25 April 1994, anak dari Sukarji (Alm) dan Umriyah, lulus dari SD Negeri Gadang 2, SMP Negeri 2 Malang, SMA Negeri 2 Malang, lulus program sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2016. Pengalaman kerja sebagai asisten praktikum Kimia Organik dan Kimia Analisis di Laboratorium Sains Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2014 dan 2016. Praktek Kerja Lapang di PT. Petrokimia Gresik Pabrik I Unit Amoniak tahun 2015. Salah satu anggota dari grup *Chem E Car* Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya peraih nominasi *The Best Race* pada ajang perlombaan internasional *Indonesia Chem E Car Competition (ICECC)* di Institut Teknologi Surabaya tahun 2015 dan *Top 10th Finalist* pada ajang yang serupa di Melbourne, Australia pada tahun 2015.

Malang, Agustus 2016

Penulis