



Pengaruh Penambahan Kitosan terhadap Efektivitas Proses Koagulasi Menggunakan Besi (III) Klorida Heksahidrat

Belda Amelia Junisu, Evi Handayani, Bambang Ismuyanto, A.S. Dwi Saptati N. Hidayati*) dan Nurul F. Himma

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono No. 167, Malang, 6541, Telp: (0341) 587710 ext: 1333, Fax: (0341)574140

*) Penulis korespondensi : say2as@ub.ac.id

Abstract

Peat water is a potential water source that can be used as clean water if being processed previously, humic acid removal becomes the main concern since it causes turbidity, high color intensity, and acidity in the peat water. One of methods that can be used to remove the humic acid from peat water is coagulation using chemical compounds in the form of a metal salt as coagulant. In this study, ferric chloride ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) was used as the coagulant for humic acid removal. Determination of the optimum condition of coagulation was carried out with variation in pH (6 – 9) and $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ doses (20–100 ppm). Coagulation was then conducted with the addition of chitosan as the coagulant-aid to improve the effectiveness of coagulation process, which chitosan dose was varied in the range of 10–40 ppm. It was obtained that the maximum pH value was 7 and $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dose was 80 ppm with a reduction in color and turbidity of 88.08% and 97.08%, respectively. Meanwhile, with the addition of chitosan up to 50 ppm, reduction in t-color and turbidity was increased to 94.75% and 99.07% respectively.

Keywords: humic acid, ferric chloride ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), chitosan, coagulation

Abstrak

Air gambut merupakan sumber air potensial yang dapat digunakan sebagai air bersih jika diolah terlebih dahulu, dimana penyisihan asam humat menjadi perhatian utama karena kandungannya yang tinggi menyebabkan kekeruhan, intensitas warna yang tinggi, dan sifat asam pada air gambut. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk penyisihan asam humat dalam air gambut adalah koagulasi dengan menggunakan senyawa kimia berupa garam logam sebagai koagulan. Pada penelitian ini, Besi (III) Klorida ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) digunakan sebagai koagulan untuk penyisihan asam humat. Penentuan kondisi optimum koagulasi dilakukan dengan variasi pH (6–9) dan dosis koagulan $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ (20–100 ppm). Koagulasi kemudian dilakukan dengan penambahan kitosan sebagai koagulan pendukung untuk meningkatkan efektivitas proses koagulasi, dimana dosis kitosan divariasikan pada rentang 10–50 ppm. Diperoleh nilai pH optimum adalah pH 7 dan dosis $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ sebesar 80 ppm dengan penurunan warna sebesar 88,08% dan kekeruhan sebesar 97,08%. Sedangkan dengan adanya penambahan kitosan hingga 50 ppm, penurunan warna dan kekeruhan semakin meningkat hingga 94,75% dan 99,07%.

Kata kunci: : asam humat, besi (III), klorida ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), kitosan, koagulasi

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki luas lahan gambut yang cukup besar, yaitu sekitar 11% dari luas daratan Indonesia (Wahyunto dan Mulyani, 2011), dan

menempati urutan keempat di dunia (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Oleh karena itu, air gambut menjadi salah satu sumber air baku yang potensial untuk diolah menjadi air bersih.

Pada dasarnya, air gambut adalah air permukaan 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).

Pada prinsipnya air gambut dapat dijernihkan dengan menambahkan zat koagulan ke dalamnya (Martono, 1991). Hal ini dikarenakan senyawa yang dominan dalam air gambut, yaitu asam humat merupakan koloid yang bersifat hidrofilik di dalam air dan bermuatan negatif (Duursma dan Rawson, 1981). Muatan negatif dalam asam humat berasal dari ikatan aromatik kompleks yang memiliki gugus fungsional seperti $-\text{COOH}$, $-\text{OH}$ fenolat maupun $-\text{OH}$ alkohol dan bersifat *nonbiodegradable*, sehingga sulit terurai secara alamiah (Zouboulis dkk., 2004).

Garam logam hidrolisis, seperti aluminium dan besi merupakan koagulan utama yang banyak digunakan untuk membentuk agregat (Ching dkk., 1994). Namun, kelemahan dari koagulan berbasis aluminium adalah adanya keterkaitan dengan penyakit alzheimer (Hassan dkk., 2009). Sedangkan koagulan berbasis besi, seperti $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ memiliki keunggulan agregat yang terbentuk dari proses koagulasi lebih padat dan densitas muatan kationnya lebih tinggi.

Selain koagulan utama anorganik seperti garam aluminium dan besi, koagulan-organik juga dapat digunakan, dimana penggunaannya dapat dikombinasikan dengan koagulan utama (Borovickova, 2005). 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 dkk., 2013). Menurut Ramli dan Azis (2015), apabila penggunaan kitosan sebagai koagulan utama, hanya menghasilkan efektivitas koagulasi sebesar 23,52% untuk penghilangan kekeruhan, dan 14,67% untuk penghilangan warna.

Pada penelitian ini, larutan asam humat digunakan sebagai larutan model air gambut. Fokus utama yang dikaji adalah untuk mengetahui pengaruh koagulan pendukung berupa kitosan dalam efektifitas proses koagulasi larutan asam humat dengan koagulan utama $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

METODE PENULISAN

Persiapan Larutan Asam Humat

Larutan sintetik asam humat sebesar 90 ppm disiapkan dengan melarutkan 0,9 gram serbuk asam humat dan kemudian dilarutkan dalam 1000 mL air.

Persiapan Koagulan Utama dan Pendukung

Koagulan utama $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 200 ppm digunakan sebagai larutan induk dengan melarutkan 0,2 gram padatan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 1000 mL akuademin. Sedangkan koagulan pendukung, 0,1 gram serbuk

kitosan dilarutkan dalam 100 mL asam asetat dan diaduk selama 3 jam hingga homogen.

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

Penentuan pH dan dosis optimum koagulan utama $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dilakukan proses koagulasi dengan variasi pH dari 6 hingga 9 dan variasi dosis koagulan sebesar 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm. Proses koagulasi dilakukan menggunakan alat pengaduk (*jar test*) dengan volume larutan asam humat sintetik sebesar 250 mL. Kecepatan pengadukan yang digunakan mengacu pada SNI 19-6449-2000 tentang Metode Pengujian koagulasi–flokulasi dengan *jar test*, yaitu 120 rpm selama 1 menit dan 20 rpm selama 25 menit. Setelah proses koagulasi, dilanjutkan dengan pendiaman sampel selama 2 jam kemudian dilakukan analisa nilai absorbansi dan kekeruhan.

Penentuan Dosis Optimum Kitosan

Setelah didapatkan kondisi pH dan dosis optimum $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, dilanjutkan proses koagulasi dengan menambahkan kitosan sebesar 10, 20, 30 dan 50 ppm. Selanjutnya dilakukan proses koagulasi dan analisa sampel dengan prosedur yang sama.

Analisa

Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan sebelum dan sesudah proses koagulasi menggunakan pH meter *handylab* pH 11 dari Schott®. Pengukuran sebelum koagulasi bertujuan untuk mengetahui nilai pH mula-mula sehingga dapat diketahui jumlah pengontrol pH (HCl 0,1M atau NaOH 0,1 M) yang harus ditambahkan agar sesuai dengan variabel yang telah ditentukan. Kemudian setelah proses koagulasi, tepatnya setelah pengambilan sampel, larutan diukur kembali nilai pH nya untuk mengetahui pH akhir sampel

Fourier Transform-Infra Red (FT-IR)

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

Untuk mencari nilai derajat deasetilasi, digunakan rumus sebagai berikut (Khan dkk., 2002)

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

Uji Absorbansi dan Kekeruhan

Uji nilai absorbansi menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 375 nm. Sedangkan uji kekeruhan menggunakan turbidimeter dengan kode instrument TB 300 IR, nomor serial 15/2650 merk Lovibond Water Testing.

Pengujian ini dilakukan sebelum dan sesudah koagulasi. Untuk mengetahui prosentase penurunan warna dan kekeruhan digunakan rumus berikut:

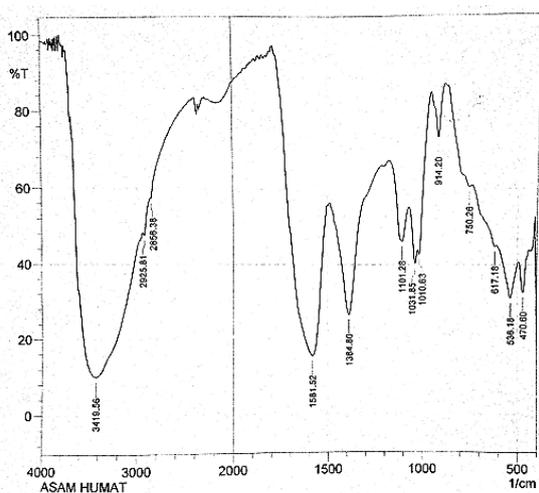
$$\% \text{ Penurunan kekeruhan} = \frac{NTU_{\text{awal}} - NTU_{\text{akhir}}}{NTU_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi FT-IR

Asam Humat

Hasil uji FT-IR ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar tersebut menunjukkan bahwa terdapat delapan puncak spektra yang dapat diamati, 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 3419,56 ditemukan vibrasi *stretching* gugus OH (fenolik) karena gugus tersebut memiliki rentang bilangan gelombang 3400–3200 cm^{-1} . 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 asimetris* 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 dkk., 2010). Pada bilangan gelombang 1031,85 dan 914,2 cm^{-1} ditemukan vibrasi *stretching* C-O dari polisakarida dan mineral alam seperti Si-O (Lesbani dan Badaruddin, 2012).



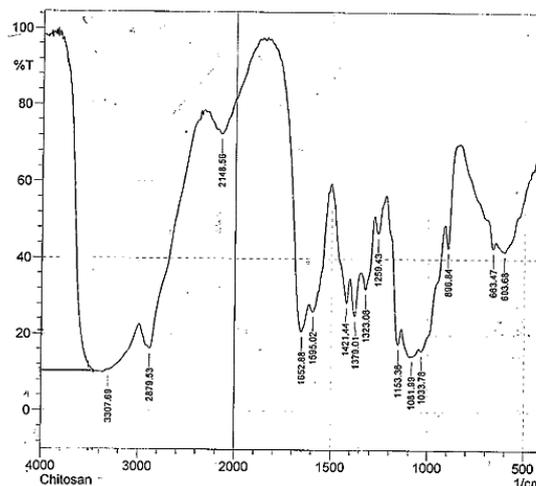
Gambar 1. Spektra FT-IR Asam Humat

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.

Kitosan

Gambar 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 dkk., 2005).



Gambar 2. Spektra FT-IR dari Kitosan

Semakin kecil transmitansi, maka semakin sedikit cahaya yang dipancarkan oleh sampel, sehingga menunjukkan bahwa partikelnya semakin banyak.

Berdasarkan persamaan 1, didapatkan nilai Derajat Deasetilasi (DD) dari kitosan adalah sebesar 54,52%. Nilai tersebut dibawah nilai DD kitosan komersial yaitu sebesar 70–95% (Kalut, 2008). Rendahnya nilai DD tersebut disebabkan karena nilai transmitansi 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.

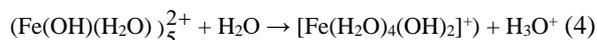
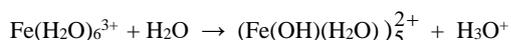
Semakin besar nilai DD menunjukkan banyaknya jumlah gugus amina (–NH₂) yang terbentuk ketika proses deasetilasi. Kitosan yang digunakan pada percobaan ini memiliki nilai DD yang relatif kecil sehingga jumlah gugus aminanya juga kecil. Akan tetapi, menurut Guibal dkk. (2006), nilai DD dan berat molekul 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. Oleh karena itu, nilai DD kitosan tidak menjadi masalah dalam penelitian ini.

Pengaruh pH dan Dosis Koagulan FeCl₃.6H₂O

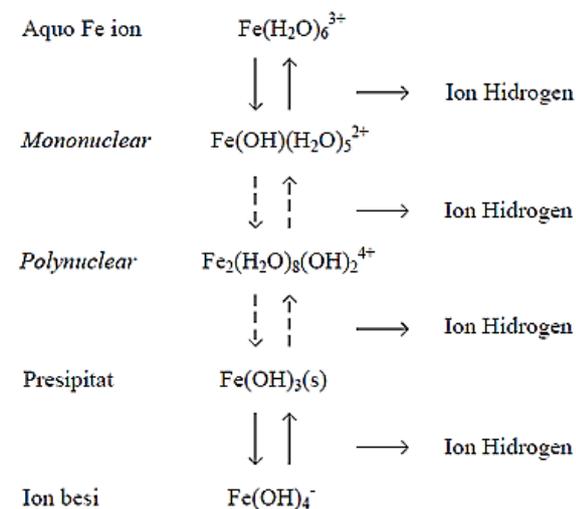
Pada proses koagulasi, koagulan akan mengalami beberapa reaksi. Proses yang terjadi ketika koagulan FeCl₃.6H₂O ditambahkan ke dalam air terdapat beberapa reaksi, mula-mula terjadi disosiasi Fe(III) sehingga menghasilkan ion Fe³⁺ seperti reaksi yang ditunjukkan berikut (Crittenden dkk., 2012):



Ion trivalent tersebut kemudian terhidrasi untuk membentuk kompleks aquo-logam Fe(H₂O)₆³⁺ dan terjadi reaksi lanjutan untuk membentuk spesi *mononuclear* (Fe(OH)(H₂O)₅²⁺) seperti reaksi berikut (Crittenden dkk., 2012):



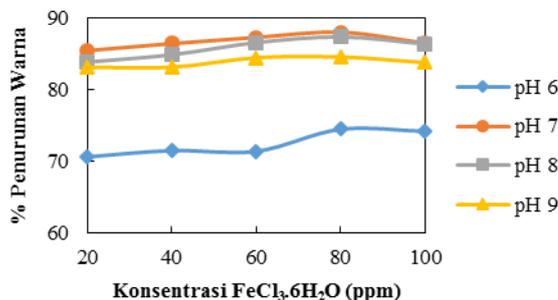
Pada persamaan (4), ion besi memiliki 6 buah koordinasi dan enam molekul air yang berada di sekelilingnya. Kompleks aquo-logam selanjutnya mengalami tahapan hidrolisis membentuk sebuah spesi *mononuclear* (satu ion besi) dan diteruskan dengan pembentukan polinuklear, endapan dan ion aluminat yang ditunjukkan pada Gambar 3.



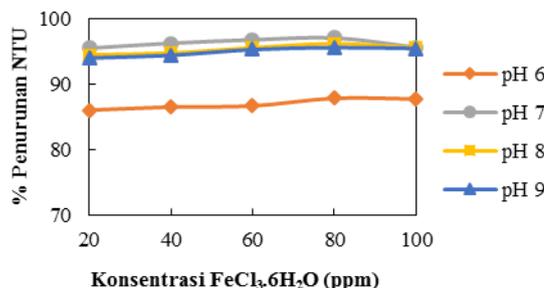
Gambar 3. Tahap-tahap hidrolisis besi (III)(Crittenden dkk., 2012)

Berdasarkan grafik kelarutan FeCl₃.6H₂O (Crittenden dkk., 2012), reaksi ion logam dengan air menghasilkan beberapa macam produk. Pada kondisi pH larutan 6 hingga 10, produk utama yang terbentuk berupa logam hidroksida Fe(OH)₃. Sedangkan pada pH rendah atau dibawah 6, produk yang terbentuk berupa kompleks dengan air (Hendrick, 2006). Hal ini sangat berkaitan dengan hasil penelitian ini. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Sesuai dengan grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5, pH yang paling baik untuk proses

koagulasi dengan koagulan FeCl₃.6H₂O adalah pada pH 7 karena menunjukkan prosentase penghilangan warna dan penghilangan kekeruhan yang paling tinggi.



Gambar 4. Grafik penurunan warna dengan variasi pH dan dosis koagulan utama



Gambar 5. Grafik penurunan kekeruhan dengan variasi pH dan dosis koagulan utama

Pada variabel pH 6, pengurangan 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⁻. Ion H⁺ merupakan *counter ion* atau ion yang memiliki muatan yang berbeda dengan koloid. Keberadaan ion H⁺ dan ion Fe³⁺ dapat menekan lapisan ganda koloid sehingga terjadi terdestabilisasi. Akan tetapi, jika ion H⁺ yang terdapat dalam sampel terlalu banyak, maka akan terjadi adsorpsi *counter ion* yang berlebihan sehingga terjadi gaya tolak-menolak antar ion positif (Gozan dan Wulan, 2011). Pada keadaan tersebut sangat mungkin terjadi restabilisasi koloid, sehingga pengikatan koloid oleh koagulan tidak berjalan baik. Selain itu, menurut Boggs dkk., (1985) penurunan pH larutan dapat mengakibatkan penurunan stabilitas kompleks asam humat-logam. Ketika ion logam (Fe³⁺) berikatan dengan koloid asam humat, maka ikatan tersebut dapat disebut kompleks asam humat-logam. 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 pengurangan warna sebesar 74,48% dan pengurangan kekeruhan sebesar 87,86%.

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

Pada pH lebih dari 6, proses koagulasi membentuk presipitat berupa senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Menurut Crittenden dkk (2012), senyawa tersebut mencapai ZPC (*zero point of charge*) pada pH 8,5. Pada rentang pH di bawah ZPC, $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan polimer hidrokso kation akan lebih dominan, sedangkan di atas ZPC, kompleks hidrokso anion lebih dominan. Pada tahap akhir pembentukan kompleks *polynuclear*, akan terbentuk presipitat $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang dapat menjerap koloid (Hendricks, 2006).

Pada saat koagulasi dengan pH 7, presipitat $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan polimer hidrokso kation yang terbentuk cenderung bermuatan positif sehingga dapat menjerap koloid yang belum bereaksi dengan koagulan. Oleh karena itu, prosentase pengurangan warna menjadi lebih besar karena jumlah koloid yang terjerap lebih banyak.

Hampir sama dengan pH 7, senyawa yang terbentuk pada pH 8 adalah presipitat $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan polimer hidrokso kation. Akan tetapi, karena pH larutan mendekati pH ZPC dari $\text{Fe}(\text{OH})_3$, maka jumlah polimer hidrokso kation yang terbentuk lebih sedikit dan muatan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ cenderung mendekati netral sehingga proses penjerapannya tidak lebih baik dari pH 7.

Hasil pengurangan warna pada variabel pH 9 menunjukkan hasil lebih kecil daripada pH 8, tetapi lebih besar daripada pH 6. Untuk mencapai pH 9, perlu ditambahkan larutan NaOH 0,1 M 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 dkk., (1985), 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. Selain itu, pada pH 9 terbentuk presipitat $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang cenderung bermuatan negatif. Penambahan jumlah muatan negatif di dalam larutan dapat menyebabkan gaya tolak-menolak antara partikel koloid dengan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ sehingga penjerapan koloid tidak berjalan dengan baik.

Selain itu, OH^- yang ditambahkan akan bereaksi dengan ion H^+ yang dimiliki oleh larutan sehingga akan menyebabkan terjadinya reaksi penetralan dan dilanjutkan dengan pembentukan $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ yang bersifat larut seperti reaksi berikut :

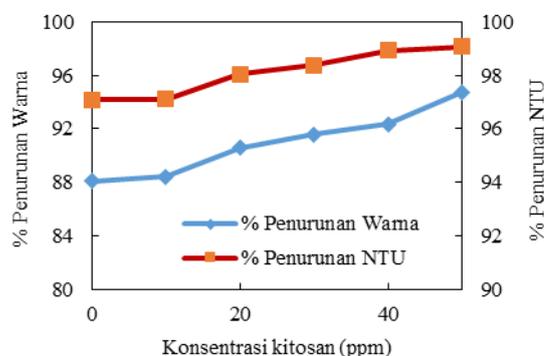


Pada setiap variabel pH, konsentrasi koagulan sebesar 100 ppm menunjukkan adanya penurunan prosentase penghilangan warna maupun kekeruhan. Hal tersebut disebabkan karena jumlah ion Fe^{3+} yang terlalu banyak sehingga dapat menyebabkan *reversal charge* atau perubahan muatan pada koloid. Menurut Liu dan Lipták (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*).

Pengaruh Penambahan Kitosan terhadap Efektivitas Koagulasi

Setelah mengetahui pH serta konsentrasi koagulan terbaik yang menghasilkan prosentase pengurangan warna serta kekeruhan yang terbesar, maka penelitian dilanjutkan dengan penggunaan koagulan pendukung yaitu kitosan. Konsentrasi koagulan yang digunakan adalah 80 ppm dan pH larutan sebesar 7. Grafik hasil koagulasi asam humat sintetik dengan konsentrasi $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 80 ppm dan pH 7 dapat dilihat pada Gambar 6 .

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^+ . Menurut Davis (2011), kitosan dapat terprotonasi pada pH 4,6 dan memiliki nilai isoelektrik (ZPC) pada nilai pH 6,3. Ketika terjadi netralisasi dengan adanya penambahan NaOH *excess*, kekuatan ionik dari larutan akan meningkat sehingga molekul-molekul kitosan menjadi lebih padat. Gugus amino bebas pada sebuah rantai polimer kitosan akan membentuk ikatan hidrogen intermolekular dengan oksigen pada rantai polimer yang lain. Pada pH di atas 6,5 (pK_a gugus amino pada kitosan), ukuran agregat akan meningkat sehingga akan terjadi pemisahan fase (Chen, 2008).

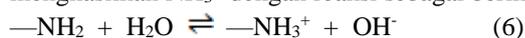


Gambar 6. Grafik pengaruh kitosan terhadap - pengurangan warna dan pengurangan kekeruhan

Pada penelitian ini, kitosan digunakan sebagai koagulan pendukung untuk meningkatkan efektivitas koagulasi dan menghasilkan flok yang lebih stabil.

Menurut Crittenden dkk., (2012), mekanisme dari kitosan sebagai koagulan polimer pendukung adalah dengan mekanisme jembatan antar partikel. Pernyataan tersebut didukung oleh Huang dan Chen (1996) bahwa pada pH netral (pH = 7) mekanisme utama yang terjadi 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.

Ketika dilarutkan ke dalam asam asetat 1% (pH 4), kitosan akan terprotonasi sebanyak 90% (Hassan, dkk., 2009). Pada pH tersebut, kitosan akan menghasilkan NH_3^+ dengan reaksi sebagai berikut :



Gugus NH_3^+ yang dihasilkan dapat mendestabilisasi partikel koloid yang bermuatan negatif. pH larutan yang digunakan adalah pH 7 (sedikit di atas pH isoelektrik kitosan), sehingga selain memiliki gugus bermuatan positif, kitosan juga memiliki gugus bermuatan negatif. Gugus yang bermuatan positif akan bereaksi dengan koloid bebas yang belum berikatan dengan ion Fe^{3+} , sedangkan gugus yang bermuatan negatif akan berikatan dengan senyawa hidroksida logam. Seluruh agregat yang dihasilkan dari proses koagulasi akan membentuk agregat bersifat *amorphous* (Muzzarelli, 1998 dalam Chen, 2008).

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, terjadi peningkatan prosentase pengurangan warna maupun kekeruhan seiring dengan penambahan konsentrasi kitosan. Penurunan warna tertinggi dicapai dengan penambahan kitosan dengan konsentrasi 50 ppm yaitu sebesar 93,205% atau peningkatan sebesar 4,247%. Penurunan kekeruhan tertinggi juga dicapai dengan penambahan kitosan dengan konsentrasi 50 ppm yaitu sebesar 98,927 atau peningkatan sebesar 3,411%. Semakin besar konsentrasi kitosan, maka semakin panjang rantai polimernya sehingga jembatan partikel yang dibentuk oleh kitosan dengan presipitat semakin banyak.

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 Baku mutu Permenkes sebagai berikut.

Tabel 1. Perbandingan hasil air olahan dengan standar baku mutu

Parameter	Hasil Koagulasi		Baku Mutu*
	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Kombinasi	
pH	6,72	7,11	6,5 - 8,5
Warna	0,532	0,269	15
Kekeruhan	2,39	0,47	5

KESIMPULAN

Hasil penelitian telah menunjukkan bahwa penambahan kitosan dalam koagulasi larutan asam humat sintetik menggunakan $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai koagulan utamanyadapat meningkatkan hasil koagulasi yang 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%.

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.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2000). SNI 19-6449-2000. *Metode Pengujian Koagulasi-Flokulasi dengan Cara Jar*. BSN (Badan Standarisasi Nasional).
- Boggs, S., Livermore, D., dan Seitz, M. G. (1985). *Humic Substances in Natural Waters and Their Complexation with Trace Metals and Radionuclides: A Review*. Illinois, US: Argonne National Laboratory.
- Borovickova, M. (2005). Chitosan – A New Type of Polymer Coagulant. *Thesis*. Institute of Chemistry and Technology of Environmental Protection, Czech Republic.
- Chen, Y. L. (2008). Preparation and Characterization of Water-Soluble Chitosan Gel For Skin Hydration. *Thesis*. Universiti Sains Malaysia, Malaysia.
- Ching, H.W., Tanaka. T.S., dan Elimelech, M. (1994). Dynamics of Coagulation of Kaolin Particles with Ferric Chloride. *Journal of Water Resources*, 28(3), 559-569.
- Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J. dan Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design* 3rd Edition. New Jersey: John Wiley and Sons
- Davis, S. P. (2011). *Chitosan: Manufacture, Properties, and Usage*. New York: Nova Science Publishers.

- 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.*, 1(5), 40-47.
- Guibal, E., Vooren, M. V., Dempsey, B. A., Roussay, J. (2006). A Review of the Use of Chitosan for the Removal of Particulate and Dissolved Contaminants. *Separation Science and Technology*, 41(11), 2487-2514.
- Hassan, A., Arifin, M., Li, T. P., dan Noor, Z. Z. (2009). Coagulation and Flocculation Treatment of Wastewater in Textile Industry usig Chitosan, *Journal of Chemical and Natural Resources Engineering*, 4(1), 43-53.
- Hendricks, D. W. (2006). *Water Treatment Unit Process : Physical and Chemical*. USA : CRC Taylor & Francis Group
- Hesami, F., Bina, B., dan Ebrahimi, A. (2013). The Effectiveness of Chitosan as Coagulant Aid in Turbidity Removal from Water. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 2(6).
- Huang, C. dan Chen, Y. (1996). Coagulation of Colloidal Particles in Water by Chitosan. *J. Chem. Tech. Biotechnol.* , 66, 227-232.
- Kalat, S. K. (2008). Enhancement Degree of Deacetylation of Chitin in Chitosan Production. *Thesis*. Universiti Malaysia Pahang, Malaysia.
- Khan, T. A., Peh, K. K., dan Seng, C. H. (2002). Reporting Degree of Deacetylation Values of Chitosan: The Influence of Analytical Methods. *Journal of Pharmaceutical Science*, 5(3), 205-212.
- Kusnaedi. (2006). *Mengolah Air Gambut dan Kotor untuk Air Minum*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Lesbani, A., dan Badaruddin, M. (2012). Karakterisasi Asam Humat dari Tanah Gambut Muara Kuang Kabupaten Ogan Ilir. *Majalah Ilmiah Sriwijaya*. XXI, No. 14
- Liu, D. H. F. dan Lipták, B. G. (1999). *Wastewater Treatment*. US: CRC Press.
- Martono, A. (1991). *Buku Panduan Air dan Sanitasi PD II*. Jakarta: Pusat Informasi Wanita dalam Pembangunan, PDII –LIPI.
- Rahman, M. A., Hasan, Md. A., Abdur, R., dan Alam, A. M. S. (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*, 11(1), 42-52.
- Ramli, S. F. dan Aziz, H. A. (2015). Use of Ferric Chloride and Chitosan as Coagulant to Remove Turbidity and Color from Landfill Leachate. *Applied Mechanics and Materials*, 773-774, 1163-1167.
- Silverstein, Robert M., Francis X. W., dan David J. K. (2005). *Spectrometric Identification of Organic Compounds 7th Edition*. New York ; State University of New York
- Tim Penyusun. (2012). *Strategi Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan di Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Wahyunto dan Mulyani, A. (2011). Sebaran Lahan Gambut di Indonesia. Dalam: *Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Editor: Nurida, N.L., Mulyani, A., dan Agus, F. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- 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*. 70, 35-41