

Prestasi Koagulan Cair Berbasis Lempung Alam Cengar dalam Pengolahan Air Gambut

Muhdarina^{1*}, Nurhayati^{1a}, Syaiful Bahri², T. Ariful Amri¹, Amelia Linggawati^{1c}, Yulianti^{1d}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*Penulis korespondensi: muhdarina.m@lecturer.unri.ac.id

²Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Riau

^an_yatisyam@yahoo.com

^btarifulamri@gmail.com

^calinggawati@gmail.com

^dliyan_nez@yahoo.co.id

Abstract

Lempung alam Cengar telah digunakan sebagai bahan baku penyediaan koagulan cair untuk pengolahan air gambut. Koagulan cair disediakan melalui tahap kalsinasi dan pelindian dengan asam sulfat. Lempung alam dikalsinasi pada 500°C selama 3 jam, sedangkan kondisi pelindian dipilih dengan kadar 0,2; 0,4 dan 0,6 mol asam sulfat, temperatur 30, 60 dan 100°C dan waktu pelindian 60, 120 dan 180 menit. Kandungan kation Al³⁺ dan Fe³⁺ di dalam koagulan ditentukan dengan metode spektroskopi serapan atom. Kadar kation Al³⁺ maksimum 29,368 mg/L didapat pada kondisi pelindian 100°C, 3 jam dan konsentrasi 0,6 mol, sedangkan kation Fe³⁺ diperoleh sebanyak 34,993 mg/L dengan pelindian 0,6 mol asam, 30°C dan 1 jam. Koagulan cair berbasis lempung Cengar mengandung kation Al³⁺ dan Fe³⁺ yang jumlahnya sangat dipengaruhi oleh kondisi pelindian. Dipilih tiga jenis koagulan cair dengan kadar Al > Fe, Al ≈ Fe dan Al < Fe untuk mengkoagulasi air gambut. Parameter air gambut yang diamati di antaranya warna, kekeruhan, Chemical Oxygen Demand (COD), Total Dissolved Solid (TDS) dan Total Suspended Solid (TSS). Aplikasi koagulasi air gambut menggunakan koagulan cair menunjukkan prestasi yang memuaskan pada nisbah koagulan cair-air gambut 1:10 (v/v). Koagulan cair tipe Al < Fe menunjukkan kinerja yang paling baik di antara ketiga koagulan uji. Koagulan ini mampu menghilangkan warna air gambut sebanyak 85%, TDS 89%, COD dan kekeruhan masing-masing adalah 67%.

Kata kunci: Lempung alam Cengar, kalsinasi, pelindian, koagulan cair, air gambut.

I. Pendahuluan

Lempung alam Cengar merupakan salah satu potensi sumber daya alam daerah Riau yang dijumpai di desa Cengar Kabupaten Kuantan Singingi. Lempung ini terdeteksi mengandung mineral kaolinit dan muskovit, dengan kandungan oksida Al_2O_3 14,73% dan Fe_2O_3 1,01% [1]. Keberadaan kedua oksida ini membuka peluang bagi lempung digunakan sebagai sumber koagulan. Penggunaan mineral lempung sebagai koagulan telah dilaporkan oleh beberapa penulis jauh sebelum ini. Kombinasi mineral lempung dengan koagulan FeCl_3 lebih efisien untuk mengurangi kadar COD dalam limbah deterjen dari pada hanya menggunakan koagulan FeCl_3 saja. Penggunaan mineral lempung ternyata lebih ekonomis dari pada polielektrolit anionik 1858 S dalam membantu kerja koagulan FeCl_3 tersebut [2]. Kerja sama ozonisasi dan koagulasi dengan bentonit lebih efektif dari pada proses secara individu untuk menghilangkan asam humat dan o-diklorobenzena yang berada bersama di dalam air minum [3]. Laporan di atas menyatakan bahwa mineral lempung belum berhasil jika digunakan sebagai koagulan utama dalam proses koagulasi. Baru-baru ini dilaporkan juga bahwa lempung Shendi dan Singa yang belum mampu bekerja sendiri untuk mengurangi kekeruhan dan COD di dalam air limbah [4].

Koagulan adalah bahan kimia yang ditambahkan ke dalam air untuk destabilisasi partikulat suspensi seperti kekeruhan sehingga terbentuk flokulan yang dapat dipisahkan dari air. Koagulan juga digunakan dalam bentuk endapan (presipitat) yang dapat mengadsorpsi senyawa

organik dari air, kemudian dapat dibuang melalui penyaringan [5]. Koagulan cair diperoleh dari hasil pelarutan sumber yang diperkirakan mengandung komponen koagulan. Di atas telah disebutkan bahwa mineral lempung merupakan sumber koagulan karena kandungan oksida aluminium dan feri yang dimilikinya. Koagulan cair dibuat dari lempung alam melalui tahap kalsinasi dan pelindian, selanjutnya dikarakterisasi. Kemampuan koagulasinya terhadap air gambut dipelajari untuk parameter warna, kekeruhan, kadar COD, TDS dan TSS.

Pemilihan air gambut didasarkan pada kondisi tanah di daerah Riau yang sebagian besar berupa lahan bergambut. Dengan demikian air di lahan ini akan melarutkan komponen organik di dalamnya, sehingga air gambut berwarna gelap, berasa asam, bahkan juga berbau. Proses pengolahan dilakukan terlebih dahulu sebelum air gambut digunakan. Salah satu tahap pengolahan air adalah koagulasi, yaitu dengan menambahkan sejumlah tertentu koagulan ke dalam air untuk mengganggu kestabilan koloid di dalamnya sampai terbentuk flok, yang kemudian dapat diendapkan dan dipisahkan.

II. Percobaan

2.1 Alat dan Bahan

Bahan baku sumber koagulan adalah lempung alam Cengar yang tersedia di laboratorium Sains Material Jurusan Kimia FMIPA Universitas Riau, sedangkan bahan kimia sebagai pelarut adalah asam sulfat pekat (e-Merck). Sementara peralatan untuk sintesis dan uji daya koagulasi di antaranya ayakan 100 dan 200 mesh, lumpang, oven,

desikator, *atmospheric furnace* Vulcan TM seri A-130, *hot plate stirrer*, *bar magnetic*, *vacuum buchner* Brinkmann B-169, kertas saring Whatman 42, Spektrofotometer Serapan Atom SSA Ray Leight, pH meter Hanerna Instrument, Turbidimeter 2100A, Spektrofotometer DR 2010, Konduktometer Orion 3Star, botol sampling dan peralatan gelas standar lainnya.

2.2 Metode Penelitian

Sintesis dan Karakterisasi Koagulan Cair

Lempung Cengar dibersihkan, dikering-anginkan, digerus dan diayak dengan ukuran $100 < x < 200$ (x mesh), dilanjutkan dengan kalsinasi selama 3 jam pada 500°C di dalam furnace atmosferis. Setiap 15 g sampel lempung diekstraksi ke dalam 180 mL H_2SO_4 40% (konsentrasi 0,2; 0,4 dan 0,6 mol). Campuran diaduk dengan kecepatan 700 rpm. Waktu dan temperatur ekstraksi bervariasi selama 60, 120 dan 180 menit pada 30, 60 dan 100°C . Selanjutnya dilakukan penyaringan vakum menggunakan buchner yang dilengkapi dengan kertas saring Whatman 42 sehingga diperoleh koagulan cair. Jumlah kation Al^{3+} dan Fe^{3+} yang terekstraksi dari lempung ditentukan dengan metode SSA. Dengan demikian koagulan cair tersusun oleh gabungan kation Al^{3+} dan Fe^{3+} [1].

2.3 Proses Koagulasi dan Analisis Parameter

Air Gambut

Air gambut diperoleh dari salah satu sumur penduduk di Desa Rimbo Panjang, Km 18 Jalan Raya Pekanbaru-Bangkinang. Kedalaman sumur $\pm 1,5$ m dan sampel diambil pada bagian permukaan, pertengahan dan bagian dasar sumur dengan menggunakan botol polietilen. Semua

sampel dicampur homogen, diukur pHnya dan dibalut dengan aluminium foil, disimpan di dalam kotak pendingin dan dibawa ke laboratorium.

Proses koagulasi dilakukan dengan cara menambahkan setiap 10 ml koagulan cair ke dalam setiap 100 mL air gambut di dalam beberapa erlenmeyer. Campuran diaduk dengan kecepatan 160 rpm selama 2 menit, kemudian pengadukan diperlambat menjadi 45 rpm selama 10 menit lalu dihentikan. Campuran diendapkan selama 6 jam dan disaring melalui penyaring vakum dengan buchner dan kertas saring Whatman No.42. Warna, kekeruhan, COD, TDS dan TSS dalam air gambut setelah melalui proses koagulasi dan penyaringan ditentukan. Begitu pula keadaan air gambut awal. Intensitas warna air diukur menggunakan spektrofotometer, kekeruhan dengan turbidimeter, titrasi volumetri untuk COD, TDS dengan konduktometer dan TSS secara gravimetri.

III. Hasil dan Pembahasan

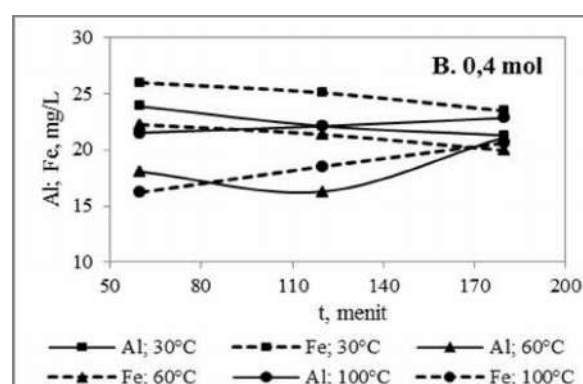
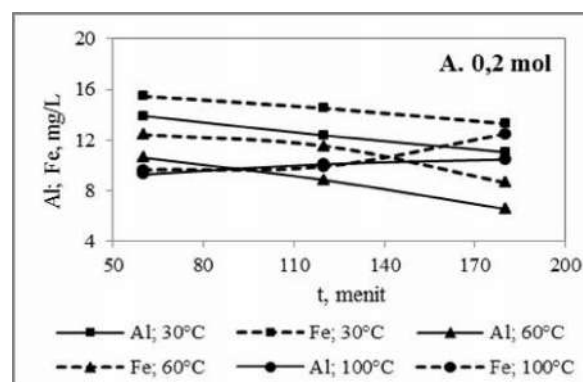
3.1 Karakterisasi Koagulan Cair

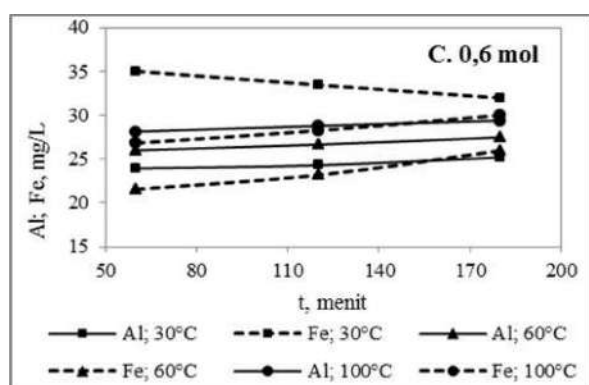
Larutan pelindi asam sulfat berperan untuk menarik kation logam di dalam bahan dasar lempung alam, ini terbukti dengan adanya sejumlah kation Al^{3+} dan Fe^{3+} di dalam koagulan cair. Koagulan cair lempung alam menunjukkan kandungan kation Al^{3+} dan Fe^{3+} yang berbeda pada setiap konsentrasi pelindi dan waktu pelindian yang diberikan. Informasi yang didapatkan dari Gambar 1 di antaranya pada konsentrasi 0,2 mol pelindi, kandungan kation dalam koagulan cair berkurang dengan penambahan waktu pelindian, kecuali pada

temperatur 100°C. Namun pada konsentrasi 0,4 dan 0,6 mol pelindii, jumlah kation Al³⁺ dan Fe³⁺ meningkat dengan waktu pada temperatur pelindii 60°C dan 100°C. Pergerakan partikel-partikel yang berinteraksi di dalam campuran lempung-asam sulfat semakin aktif dan tumbukan di antara partikel menjadi efektif ketika temperatur ditingkatkan, sehingga kation di dalam lempung lebih mudah ditarik keluar menuju koagulan cair. Keadaan ini disokong pula oleh kenaikan waktu pelindii atau waktu kontak yang disediakan selama 3 jam antara partikel lempung dengan asam sulfat. Hasil yang hampir sama dilaporkan bahwa lempung Lampang yang diekstraksi dengan H₂SO₄ menunjukkan peningkatan jumlah kation Al³⁺ dan Fe³⁺ apabila temperatur ditingkatkan [6]. Begitu pula, ekstraksi lempung Saudi menggunakan asam sulfat 40% selama 2 jam, dalam keadaan mendidih didapati kadar alumina optimum [7].

Koagulan cair yang diperoleh dari proses pelindii lempung Cengar dengan asam sulfat mengandung garam aluminium sulfat, Al₂(SO₄)₃ dan feri sulfat, Fe₂(SO₄)₃ atau kation Al³⁺ dan Fe³⁺. Menurut laporan yang lain, di dalam larutan yang encer selain terdapat garam sulfat, di dalam koagulan cair juga dijumpai kation-kation Fe(H₂O)₆³⁺ dan Al(H₂O)₆³⁺ [8]. Ion akuometal Fe ini selanjutnya terhidrolisis membentuk spesies monomer dan polimer feri, tergantung pada pH larutan. Beberapa spesies yang terbentuk berupa kation seperti Fe(OH)₂⁺, Fe₂(OH)₂⁴⁺, Fe₃(OH)₄⁵⁺, Fe(OH)₃⁰ netral dan anion Fe(OH)₄⁻ Sementara dari spesi Al(III) dihasilkan pula Al(OH)₄⁺, Al(OH)₂⁺, Al³⁺, Al₁₃(OH)₃₄⁵⁺. Dengan demikian

koagulan cair dari lempung alam ini terdiri dari gabungan berbagai jenis Al³⁺ dan Fe³⁺ sehingga keduanya dapat bekerja sama dalam destabilisasi partikel koloid di dalam air dan membentuk flok sehingga mudah dipisahkan dari air. Namun demikian, setiap kation koagulan tetap akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil koagulasinya. Semakin besar ukuran kation dari koagulan, maka semakin besar pula kemungkinan pembentukan makroflok antara partikel koloid dengan koagulan tersebut. Radius kation Al³⁺ dan Fe³⁺ masing-masing di dalam elektrolit AlCl₃ dan FeCl₃ adalah sebesar 0,5 dan 0,64 Å [9]. Dengan alasan ini, maka Fe³⁺ lebih cepat bertemu dengan partikel koloid dalam air gambut dan berinteraksi dengannya.





Gambar 1. Kadar Al³⁺ dan Fe³⁺ dalam koagulan terhadap waktu pelindian pada setiap konsentrasi pelindi (A. 0,2; B. 0,4 dan C. 0,6 mol).

Aplikasi proses koagulasi air gambut dilakukan terhadap 3 jenis koagulan cair optimum dengan kondisi kadar kation dan pH seperti disajikan di dalam Tabel 1. Di antara ketiga koagulan cair tersebut, koagulan Al > Fe menunjukkan pH hampir netral, sedangkan 2 koagulan yang lain memiliki pH asam. Pada proses koagulasi, pH merupakan salah satu faktor yang berpengaruh. Pada pH 6 koagulan Al lebih banyak berada dalam fasa padat Al(OH)₃, sedangkan Fe ada dalam keadaan terlarut sebagai Fe(OH)²⁺. Sementara itu pada pH 2-3, kebanyakan dijumpai Fe³⁺ dan jarang sekali terdapat aluminium, sedangkan pada pH < 6, Al dan Fe dijumpai bermuatan positif, sebaliknya pada pH yang lebih tinggi keduanya bermuatan negatif [2].

Tabel 1. Koagulan cair lempung Cengar untuk koagulasi air gambut

Jmlh mol	Kondisi		Kadar Kation, mg/L		pH	Kode
	T, °C	t, s	Al	Fe		
0,6	100	60	28,118	26,818	6,59	Al > Fe
0,6	100	180	29,368	29,993	2,81	Al ≈ Fe
0,6	30	60	23,926	34,993	2,27	Al < Fe

3.2 Prestasi Koagulan Cair dalam Pengolahan Air Gambut

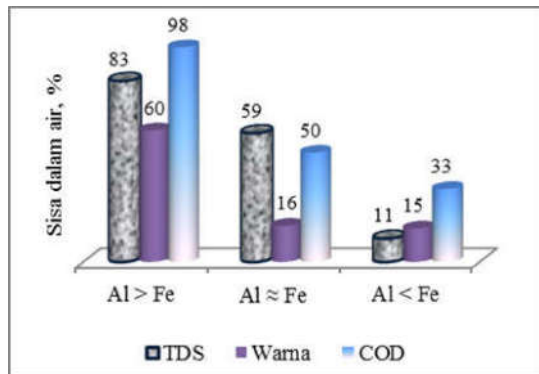
Proses koagulasi air gambut bertujuan untuk mengendapkan partikel koloid oleh pengaruh elektrolit dari koagulan. Keberadaan elektrolit menyebabkan makromolekul humus berubah dari tipe koloid hidrofilik menjadi hidrofobik. Menurut aturan Schultz-Hardy, kation trivalen lebih efektif mengkoagulasi senyawa humus dari pada kation divalen dan monovalen [9].

Efek koagulan terhadap warna, TDS dan COD dalam air gambut

Intensitas warna air gambut yang terukur adalah 1250 TCU. Setelah ditambahkan koagulan cair, terbukti intensitas warna air gambut berkurang seperti ditunjukkan di dalam Gambar 2, artinya air gambut masih memperlihatkan warna, meskipun sudah mulai memudar. Diperoleh bahwa koagulan cair dengan kadar Al < Fe memberikan daya koagulasi yang paling besar dengan meninggalkan sisa warna sebanyak 15%. Warna air gambut disebabkan oleh kelarutan senyawa humus di dalamnya. Intensitas warna air meningkat jika senyawa organik humus terikat pada logam yang berada bersamanya dalam larutan. Penambahan koagulan cair dengan kadar Fe³⁺ yang lebih tinggi menyebabkan pengikatan kation Fe³⁺ kepada senyawa humus semakin banyak, karena ukuran kation Fe³⁺ yang lebih besar dari Al³⁺ sehingga mempermudah pembentukan flok menjadi lebih besar dari pada 2 koagulan cair lainnya.

Di dalam Gambar 2 terlihat hubungan sebanding antara intensitas warna dengan kadar TDS air gambut. Di dalam air gambut, TDS didominasi oleh koloid humat yang terlarut di dalam air [9], disamping kation-kation anorganik

seperti Mn, Fe dan Mg. Kation-kation ini terikat bersama senyawa humat membentuk kompleks terlarut, sehingga menunjang peningkatan intensitas warna dalam air.



Gambar 2. Intensitas warna, kandungan TDS dan COD di dalam air gambut pasca koagulasi.

Analisis air gambut mendapatkan total padatan terlarut sebesar 226 mg/L. Perlakuan koagulasi dengan setiap koagulan cair mampu mengurangi TDS air gambut dan yang terbesar dijumpai pada koagulan cair tipe Al < Fe. Menurut pengamatan secara visual, koagulan ini juga membentuk flok yang lebih besar (makroflok) setelah mengkoagulasi air gambut dibandingkan dengan 2 koagulan lainnya. Jadi peran kation Fe^{3+} lebih mencolok terhadap hasil yang diberikan, semakin tinggi kadar Fe^{3+} maka semakin besar pula makroflok yang diperoleh, sehingga sisa TDS di dalam air gambut semakin kecil.

Gambar 2 menyatakan bahwa kandungan COD yang tersisa dalam air gambut paling rendah (33%) dari kandungan awalnya sebanyak 172,8 mg/L setelah diperlakukan dengan koagulan tipe Al < Fe. Penurunan COD juga disebabkan oleh destabilisasi koloid organik oleh muatan positif koagulan, terutama oleh Fe^{3+} , karena kadar COD

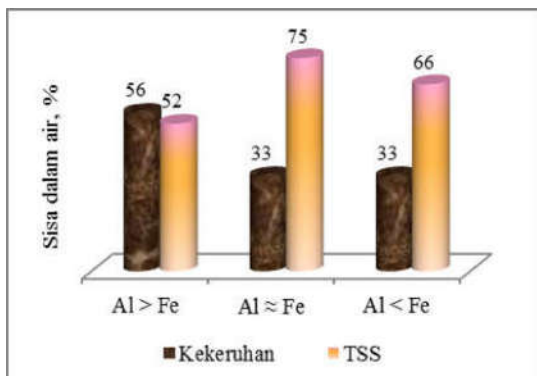
di dalam air gambut sebanding dengan kadar zat organik [2]. COD dapat ditarik dari air limbah sebanyak 26% dan 28% masing-masing oleh lempung Shendi dan Singa [4]. Sementara itu efisiensi pengurangan COD dari limbah deterjen sebesar 71% oleh 2 g/L koagulan $FeCl_3$ pada pH 11[2]. Terbukti koagulan cair tipe Al < Fe ini dengan pH 6,59 cukup efektif mengurangi kadar COD dari air gambut, yakni sebanyak 67%.

Efek koagulan terhadap kekeruhan dan TSS di dalam air gambut

Kekeruhan di dalam air ditimbulkan oleh partikel terlarut dan tersuspensi, seperti sedimen, tanah liat, senyawa organik dan inorganik halus, bahan kimia, plankton dan mikroorganisme yang menyebabkan penyebaran cahaya dan memiliki ukuran koloid hingga lebih kasar. Penyumbang kekeruhan terbesar di dalam air gambut adalah zat organik, baik dari senyawa humus penyusun gambut sendiri maupun humus yang ikut bersama tanah liat gambut.

Hasil analisis air gambut menunjukkan bahwa kekeruhannya sebesar 9 NTU. Setelah perlakuan koagulasi dengan setiap koagulan cair, maka kekeruhan air gambut yang tersisa seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Didapatkan bahwa koagulan cair Al ≈ Fe dan Al < Fe paling banyak mengurangi kekeruhan air gambut, sehingga kekeruhan yang tersisa sebanyak 33%. Disini kation Fe^{3+} diduga lebih berperan sesuai dengan ukuran jari-jarinya yang lebih besar dari Al^{3+} (seperti yang telah disebutkan sebelumnya). Selain itu, dalam peristiwa koagulasi ini diperkirakan terjadi koagulasi adsorptif yang sangat cepat, artinya terjadi destabilisasi koloid

humus sekaligus adsorpsi yang sangat cepat senyawa humus tersebut oleh muatan positif koagulan, sehingga terbentuk flok. Dibandingkan dengan koagulan berbahan lempung Shendi dan Singa yang mampu menurunkan kekeruhan hingga 59% dan 28% [4], maka koagulan cair berbasis lempung Cengar dengan tipe $Al \approx Fe$ dan $Al < Fe$ lebih banyak mengurangi kekeruhan air gambut, yakni sebanyak 67%. Begitu pula jika dibandingkan dengan penggunaan $Al_2(SO_4)_3$ 40 mg/L sebagai koagulan untuk air bendungan Kedara yang mampu menyisakan kekeruhan hingga mencapai 47% [10], maka koagulan cair penelitian ini ternyata lebih baik. Dengan demikian keberadaan bersama kedua kation Al^{3+} dan Fe^{3+} di dalam koagulan cair ini bekerja secara sinergis sehingga mampu memperbaiki nilai parameter air gambut.



Gambar 3. Kekeruhan dan kandungan TSS di dalam air gambut setelah melewati koagulan cair lempung alam

Zat padat yang tersuspensi (TSS) di dalam air adalah partikel yang berukuran lebih besar dari partikel koloid, biasanya berkisar antara diameter 10 - 100 mikron [11]. Ukuran partikel sebesar ini umumnya masih dapat langsung diterima oleh

indera penglihatan, misalnya pasir, plankton, ganggang, patahan material organik halus.

Partikel tersuspensi dapat dipisahkan dari air dengan penyaringan biasa, tidak perlu melibatkan proses koagulasi. Namun demikian, saat makroflok terbentuk karena koagulasi partikel koloid oleh koagulan, partikel tersuspensi ikut terselubungi bersama di dalam makroflok tadi, sehingga membantu mengurangi kadar TSS di dalam air. Sisa TSS yang tinggal di dalam air gambut ditunjukkan di dalam Gambar 3. Sebelum proses koagulasi, jumlah partikel tersuspensi (TSS) dalam air gambut terukur sebanyak 87 mg/L. Koagulan tipe $Al > Fe$ menunjukkan pengurangan TSS paling besar. Di dalam Tabel 1 dinyatakan bahwa koagulan tipe ini memiliki pH mendekati netral. Pada pH ini kebanyakan Al berada dalam fasa padat $Al(OH)_3$ [2], sehingga diperkirakan sebagian partikel tersuspensi dapat teradsorpsi pada padatan $Al(OH)_3$. Selain itu partikel tersuspensi ini juga terselubungi bersama makroflok bentukan partikel koloid dengan $Fe(OH)^{2+}$ dari koagulan, sehingga dengan demikian jumlah TSS yang berkurang semakin banyak. Oleh karenanya TSS air gambut tersisa di sini paling sedikit (52%). Sementara itu pada 2 koagulan lain yang bersifat asam dinyatakan bahwa kation Al^{3+} jarang ada pada kondisi ini, maka yang terjadi hanyalah penyelubungan partikel tersuspensi oleh makroflok, tanpa adanya peristiwa adsorpsi seperti pada keadaan $Al > Fe$.

Gambar 3 di atas menunjukkan tidak ada korelasi antara kekeruhan dengan kandungan TSS. Ketiga koagulan memberikan efek yang berbeda pada kedua parameter tersebut. Kandungan TSS

bervariasi pada ketiga koagulan tersebut, sedangkan kekeruhan berkurang dengan meningkatnya jumlah kation Fe di dalam koagulan. Perbedaan itu timbul karena ukuran, bentuk dan indek bias partikel juga berbeda. Meskipun kekeruhan disebabkan oleh partikel terlarut dan tersuspensi, dari ukuran koloid hingga kasar, namun yang terukur hanya partikel seukuran diameter kecil dari 1 mikron, sedangkan partikel tersuspensi dengan diameter yang lebih besar tercatat sebagai TSS

IV. Kesimpulan

Karakteristik koagulan cair berbasis lempung Cengar dipengaruhi oleh kondisi sintesis, waktu, temperatur dan jumlah asam sulfat yang digunakan. Kadar kation Al^{3+} maksimum 29,368 mg/L didapat pada temperatur pelindian $100^{\circ}C$, waktu 3 jam dan konsentrasi pelindi 0,6 mol, sedangkan kation Fe^{3+} diperoleh sebanyak 34,993 mg/L pada kondisi pelindian $30^{\circ}C$, 1 jam dan 0,6 mol. Koagulan cair yang terpilih pada proses koagulasi air gambut mampu mengurangi nilai parameter warna, TDS, COD, kekeruhan dan TSS dalam air. Koagulan cair tipe Al < Fe menyisakan warna air sebanyak 15%, TDS 11%, COD 33% dan kekeruhan 33%, sedangkan koagulan Al > Fe menyisakan TSS air gambut sebanyak 52%. Koagulan tipe Al < Fe mengandung Al^{3+} sebanyak 23,926 mg/L; Fe^{3+} 34,993 mg/L, sedangkan koagulan Al > Fe memiliki 28,118 mg/L Al^{3+} dan 26,818 mg/L Fe^{3+} .

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai melalui skim Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi, Desentralisasi tahun

2013. Oleh karena itu ucapan terima kasih ditujukan kepada pihak DIRJEN DIKTI melalui Lembaga Penelitian Universitas Riau.

Daftar Pustaka

- [1] Muhdarina, Bahri. S, Nurhayati, Amri. T. A dan Hamid. A, "Sintesis Koagulan Cair Berbasis Lempung Alam Cengar," dalam Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung. Bandar Lampung. Vol 1, No 1. Mei 2013, pp. 269-273.
- [2] A. Aygun and Yilmaz, T, "Improvement of Coagulation-Flocculation Process for Treatment of Detergent Wastewaters Using Coagulant Aids," *International Journal of Chemical and Environmental Engineering* 1(2), pp. 97-10, 2010.
- [3] R. Srinivasan, "Review Article: Advances in Application of Natural Clay and Its Composites in Removal of Biological, Organic, and Inorganic Contaminants from Drinking Water," *Advances in Materials Science and Engineering*. Article ID 872531, pp.1-17, 2011.
- [4] M. Li. F. Awad and Hongtao. W, "Application of Natural Clays and Poly Aluminium Chloride (PAC) for Wastewater Treatment," *IJRRAS* 15(2), pp. 287-291, 2013.
- [5] P. McCool (KRWA Consultant), "The Use of Coagulants in Clarification Plants in Kansas". *The Kansas Lifeline*. March 2009, pp. 58-61.
- [6] P. Numluk and Chaisena, A, "Sulfuric Acid and Ammonium Sulfat Leaching of Alumina from Lampang Clay". *E-journal Chemistry*. Vol.9 (3), pp. 1364-1372, 2012.
- [7] A. Al-Zahrani and Abdel-Majid, M.H, "Production of Liquid Alum Coagulant from Local Saudi Clays". *JKAU: Eng. Sci.* 15 (1), pp. 3-17, 2004.
- [8] H-W. Ching, Tanaka, T.S. and Elimelechi, M, "Dynamics of Coagulation of Kaolin Particles with Ferric Chloride," *Wat. Res.* 28, pp. 559-569. 1994.
- [9] F.J Stevenson, "*Humus Chemistry*": *Genesis, Composition, Reaction*. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc. Canada, 1994.
- [10] H. Zemmouri, Drouiche, M. Sayeh, A. Lounici, H and Mameri, N, "Coagulation Flocculation Test of Keddara's Water Dam Using Chitosan and Sulfate Aluminium," *Procedia Engineering* 33, pp.254 – 260, 2012.
- [11] P.C. Wilson, "Water Quality Notes: Water Clarity (Turbidity, Suspended Solids and Color)". SI314. Department of Soil and Water Science, UF/IFAS Extension. <http://edis.ifas.ufl.edu>. [5 Mei 2014], pp. 1-8. 2013.