

# Perbandingan Kemampuan *Poly Aluminum Chloride* (PAC) dan Biokoagulan dari Tepung Jagung Pada Instalasi Pengolahan Air Bersih di PT. Semen Indonesia

Herlinda Octavianka dan Alfian Purnomo

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail*: alfianpurnomo@gmail.com

**Abstrak**—Air merupakan kebutuhan mendasar bagi seluruh makhluk hidup sebagai sumber kehidupan utama. Sehingga perlu dilakukan pengamanan kualitas air bersih yang layak dan aman digunakan, serta memenuhi standar yang berlaku. PT. Semen Indonesia telah melaksanakan kegiatan pengolahan air untuk memenuhi kebutuhan air untuk operasional pabrik dan perkantoran. Pada PT. Semen Indonesia, pengelolaan air yang efektif dan efisien menjadi salah satu pilar sebagai upaya perlindungan terhadap lingkungan. Hal tersebut menjadi strategi, target, dan inisiatif dari perusahaan untuk mencapai tujuan keberlanjutan. Proses koagulasi dan flokulasi merupakan proses penting sebagai kunci dalam pengolahan air. *Poly Aluminum Chloride* (PAC) telah banyak digunakan sebagai koagulan dalam proses pengolahan air. Sisi lain, tepung jagung telah teruji mampu digunakan sebagai koagulan karena merupakan senyawa polimer polielektrolit bersifat negatif, dengan gugus karboksil, hidroksil, dan amida, yang berperan sebagai koagulan. Biokoagulan dari tepung jagung diperoleh dari ekstraksi tepung jagung dengan NaCl 1 M. Efektifitas dan efisiensi dari koagulan diuji dengan menggunakan metode *jar test*. Aspek yang diuji yakni pH, kekeruhan, dan warna, dengan variabel berupa jenis koagulan dan dosis koagulan. Penelitian ini membandingkan kemampuan PAC dan biokoagulan tepung jagung sebagai koagulan pada proses pengolahan air di PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tepung jagung mampu bersifat sebagai bahan koagulan. Namun, biokoagulan tersebut tidak lebih efektif ataupun efisien jika dibandingkan dengan PAC.

**Kata Kunci**—Biokoagulan, *Jar Test*, Koagulasi, *Poly Aluminum Chloride*, Tepung Jagung.

## I. PENDAHULUAN

SUMBER air yang digunakan dalam Instalasi Pengolahan Air (*Water Treatment Plant*) pada PT. Semen Indonesia berupa sumur, bozem, dan Waduk Temandang. Kualitas dan kuantitas waduk sangat dipengaruhi oleh kondisi alam. Sedangkan kualitas air bozem lebih keruh dibandingkan dengan sumber air lainnya yang diakibatkan oleh alga dan mikroorganisme lain. Sehingga diperlukan serangkaian proses pengolahan air baku menjadi air bersih yang layak dan aman untuk digunakan.

Salah satu proses pengolahan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas air baku adalah proses koagulasi dan flokulasi. Proses koagulasi dan flokulasi merupakan proses penting sebagai kunci dalam pengolahan air, karena berfungsi mengonversi partikel koloid menjadi flok yang berukuran lebih besar sehingga polutan dalam air dapat dipisahkan melalui proses penyaringan padat-cair. Koagulasi dan flokulasi adalah proses yang sangat efektif untuk mereduksi organik materi, bahan tersuspensi dan koloid, termasuk

menurunkan COD, BOD, TDS, kekeruhan, warna dan pH pada air [1].

Mekanisme proses destabilisasi koloid dipengaruhi oleh karakteristik air, jenis koagulan, dosis koagulan, dan derajat keasaman (pH) proses destabilisasi. Mekanisme destabilisasi terdiri dari beberapa tahap, yakni : (1) Kompresi lapisan ganda dengan akibat penambahan koagulan yang bermuatan berlawanan, sehingga terjadi kompresi dan mempengaruhi ketebalan lapisan ganda, sehingga koloid saling berdekatan. Hal ini akan menyebabkan terbentuknya flok. (2) Adsorpsi *counter ion* pada permukaan partikel dan netralisasi muatan. Hal ini menyebabkan pengurangan gaya tolak menolak pada partikel, sehingga terjadi gaya tarik menarik, yang menyebabkan terjadinya pembentukan flok partikel terdestabilisasi. (3) Jembatan antar partikel, yang dimulai dari terbentuknya rantai polimer pada bagian partikel yang berperan sebagai jembatan. (4) Pemerangkapan partikel menjadi endapan. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses koagulasi dan flokulasi, di antaranya *gradient* pengadukan, nilai pH, suhu air, jenis dan dosis koagulan, kualitas air, jumlah garam terlarut dalam air, waktu pengadukan, serta zeta potensial [2-4].

Dalam prosesnya, koagulasi membutuhkan bahan aditif berupa koagulan, yang merupakan bahan kimia yang ditambahkan ke dalam air untuk mengendapkan partikel-partikel koloid yang sulit terendap dengan cara destabilisasi partikel dengan proses pengadukan cepat. Pemilihan koagulan merupakan hal yang wajib diperhatikan dalam proses pengolahan air. Beberapa faktor penting yang harus diperhatikan dalam pemilihan koagulan, yakni (1) Tidak beracun. (2) Tidak terlarut dalam rentang pH netral, sehingga dapat diendapkan dan mengurangi konsentrasinya dalam air. (3) Memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) ataupun internasional. (4) Berkualitas baik. (5) Terjangkau dengan mempertimbangkan harga dan ketersediaannya [5]. Koagulan yang biasa digunakan pada *Water Treatment Plant* (WTP) di PT. Semen Indonesia dalam proses koagulasi flokulasi adalah *Poly Aluminum Chloride* (PAC).

Penggunaan koagulan konvensional seperti PAC menimbulkan masalah Instalasi Pengolahan Air umumnya menghasilkan lumpur yang memiliki berbagai macam kandungan yaitu mineral, dan materi organik, yang mungkin juga mengandung pathogen, kontaminan organohalogen, dan logam yang terkonsentrasi seperti aluminium dan besi yang berasal dari penambahan koagulan [6]. Adanya wilayah pertambangan, menyebabkan kerusakan lingkungan yang cukup berarti. Sistem pertanian ekologis terpadu dapat

menjadi salah satu strategi dan upaya yang ramah lingkungan untuk mengembalikan vitalitas (kualitas dan kesehatan) tanah, yang didukung dengan kemajuan teknologi di bidang bioteknologi tanah yang ramah lingkungan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan eksplorasi terhadap material alami, yang lebih ramah lingkungan namun mempunyai potensi yang baik dan dapat digunakan sebagai koagulan alternatif yang tidak menyebabkan efek samping seperti penggunaan koagulan konvensional, seperti PAC. Biokoagulan dan bioflokulan berasal dari makhluk hidup atau bagian-bagiannya dan benar-benar organik dan dapat terurai secara hayati; oleh karena itu, mereka ramah lingkungan dan memiliki dampak minimal pada kesehatan manusia [7].

Tepung Jagung dapat dijadikan sebagai koagulan alternatif karena sifatnya tidak beracun, mudah terdegradasi dan bahan bakunya mudah didapatkan. Tepung jagung sebagai koagulan alami didasarkan pada sifatnya yang polielektrolit. Polimer dalam tepung jagung dapat mengikat partikel koloid dan membentuk flok sehingga dapat mengendap. Polimer bersifat polielektrolit yang bermuatan negatif. Hasil koagulasi memberikan efisiensi penurunan kekeruhan yang cukup baik [5],[8].

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan koagulan dan biokoagulan yang akan menghasilkan efisiensi optimum, sehingga mencapai target pengolahan yang diinginkan.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Pembuatan Koagulan dari Tepung Jagung

Komponen aktif dari tepung jagung yang berperan dalam proses koagulasi dapat diperoleh dengan cara ekstraksi. Koagulan dari tepung jagung diperoleh dengan cara melarutkan 5 gram tepung ke dalam 100 ml NaCl 1 M. Larutan tersebut dihomogenkan selama 30 menit dengan *magnetic stirrer* dan dilanjutkan pemisahan dengan metode sentrifugasi. Ekstrak tepung jagung diperoleh dari supernatan hasil sentrifugasi. Koagulan ini sebaiknya digunakan pada hari yang sama dengan waktu percobaan *jar test* atau bisa diawetkan dalam lemari pendingin.

### B. Variabel Penelitian

Variabel yang ditetapkan dalam penelitian ini berupa dosis penggunaan bahan koagulan dan biokoagulan, yakni berupa rekayasa variasi dosis koagulan, biokoagulan, serta kombinasi keduanya. Variasi dosis koagulan yakni 100% PAC, 100% biokoagulan tepung jagung, 75% PAC:25% Biokoagulan, 50% PAC:50% Biokoagulan, dan 25% PAC:75% Biokoagulan. Sedangkan derajat keasaman air awal disesuaikan dengan pH pada air baku PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.

### C. Jar Test

*Jar test* merupakan suatu percobaan skala laboratorium yang berfungsi untuk menentukan dosis optimum dari koagulan yang digunakan dalam proses pengolahan air. Metode ini dimaksudkan untuk meniru sebaik mungkin keadaan yang sebenarnya di lapangan. Metode *jar test* mensimulasikan proses koagulasi dan flokulasi untuk menghilangkan padatan tersuspensi dan zat-zat organik yang dapat menyebabkan masalah kekeruhan, bau, dan rasa [9].

*Jar test* dilakukan dengan kecepatan pengadukan cepat 200 rpm selama 2 menit, kemudian dilanjutkan dengan pengaduk-

an lambat dengan kecepatan 60 rpm selama 20 menit. Kemudian waktu untuk pengendapan selama 15 menit lalu dilakukan pemeriksaan terhadap kekeruhan, pH, dan warna pada air.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Karakteristik Sampel

Sampel yang digunakan adalah air dari boezem yang digunakan sebagai bahan baku dari pengolahan air pada *Water Treatment Plant* PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Pabrik Tuban. Karakteristik sampel memiliki kekeruhan sebesar 28 NTU, pH sekitar 7–8, dan warna sebesar 81 PtCo.

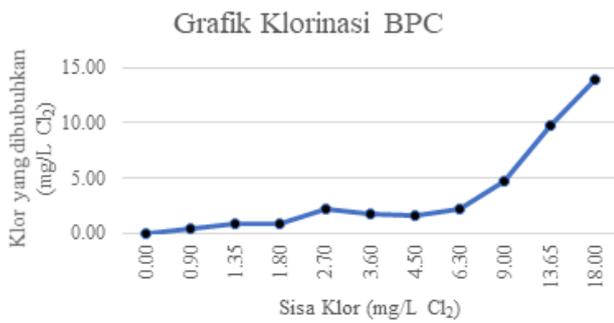
Kekeruhan dapat didefinisikan sebagai penurunan transparansi larutan karena adanya suspensi yang menyebabkan cahaya tampak tersebar, tercermin, dan dilemahkan daripada ditransmisikan dalam garis lurus. Semakin tinggi intensitas yang didisipasi (dihamburkan), semakin tinggi nilai kekeruhan. Warna pada air dapat dibedakan atas dua hal, yaitu warna sejati (*true color*) dan lainnya disebut warna semu (*apparent color*). *True Water Color* dihasilkan dari absorpsi cahaya hanya oleh bahan organik dan mineral terlarut. Warna sejati adalah warna dari air yang sebenarnya tanpa adanya kekeruhan, yang disebabkan adanya senyawa yang mudah larut dan beberapa ion logam. Sedangkan warna semu adalah hasil dari kombinasi efek penyerapan cahaya oleh materi terlarut dan partikulat, yakni ditimbulkan oleh zat terlarut dan bahan tersuspensi. Warna semu adalah warna yang sebenarnya dilihat seseorang di badan air [10].

Hubungan kekeruhan dengan warna adalah berbanding lurus karena semakin tinggi nilai kekeruhan maka akan semakin pekat juga warna dari perairan tersebut. Gelapnya warna air karena kekeruhan dapat mengakibatkan sulitnya penetrasi cahaya matahari sehingga proses fotosintesis terhambat dan mengakibatkan kadar oksigen pada badan air semakin berkurang [11].

### B. Water Treatment Plant

Air baku untuk pengolahan (*raw water*) didapatkan pada bozem dan Waduk Temandang PT Semen Indonesia (Persero) Tbk. Terdapat hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengolahan badan air, salah satunya *suspended solids* (SS) yang mempengaruhi sistem air, efek yang terjadi meliputi mengurangi penetrasi cahaya, mengubah suhu, dan mengisi reservoir dengan padatan yang diendapkan. Pengontrolan SS yang tidak tepat akan menyebabkan serangkaian dampak yang tidak diinginkan seperti berkurangnya nilai estetika, fotosintesis terhambat, saluran tersumbat dan penurunan umur panjang bendungan, waduk dan infrastruktur air lainnya [12-13].

Unit pengolahan terdiri dari unit proses dan unit operasi. Unit pengolahan air bersih dimulai dari *pre treatment*, yang berfungsi sebagai pengolahan awal seperti pengaturan atau pengondisian air, penyaringan, dan pemisahan minyak. Kemudian *primary treatment*, seperti sedimentasi, pengadukan, koagulasi dan flokulasi, serta filtrasi. Selanjutnya adalah *secondary treatment* dan *tertiary treatment* sebagai unit pengolahan tambahan (*advance*). Kemudian *desinfection* untuk memastikan keamanan pada air dari bakteri *pathogen* sehingga aman untuk digunakan. Selanjutnya lumpur hasil



Gambar 1. Grafik klorinasi BPC.

dari pengolahan perlu dilakukan pengelolaan sehingga tidak berbahaya bagi lingkungan dan dampak lainnya.

C. Pre-treatment Klorinasi

Preklorinasi (*prechlorination*) merupakan salah satu *pre-treatment* yang digunakan pada WTP PT. Semen Indonesia. Proses ini bertujuan untuk mengurangi beban atau tingkat patogen pada proses selanjutnya, menghilangkan polutan dalam air seperti rasa dan bau, dengan mengoksidasi zat-zat seperti besi, mangan, dan sebagainya, kemudian mencegah molekul organik seperti warna, mencegah pertumbuhan jamur, serta mencegah pertumbuhan alga (*ganggang*) pada air [14]. Dosis klorin yang dibutuhkan dalam proses preklorinasi dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Break Point Chlorination* (BPC). BPC merupakan metode untuk mendapatkan titik di mana semua bahan organik dan bahan anorganik yang larut dalam sampel air telah teroksidasi oleh klor aktif, dan memberikan informasi sisa klor yang berfungsi sebagai desinfektan [15]. Grafik Klorinasi BPC dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1, maka dapat ditentukan bahwa BPC terjadi pada pembubuhan klor sebesar 4,5 mg/L. Karena pada titik tersebut seluruh zat organik dan anorganik telah teroksidasi.

D. Uji Efektivitas dan Efisiensi Poly Aluminum Chloride (PAC)

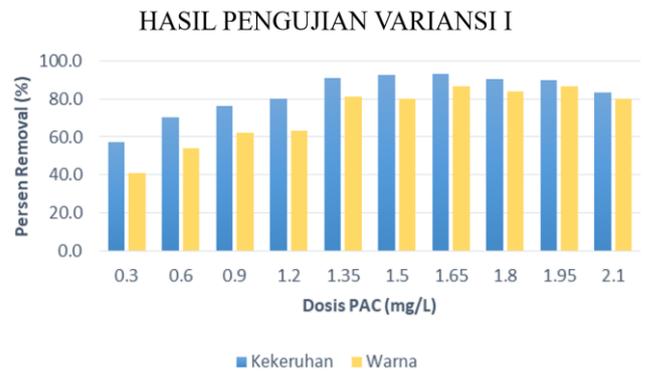
Konsentrasi PAC yang digunakan PAC 12% dengan larutan induk 30 ppm. Larutan induk ini yang nantinya akan dibuat variabel dosis koagulan PAC yang dibutuhkan. Kelebihan koagulan *Poly Aluminum Chloride* (PAC) antara lain lebih cepat membentuk flok dari pada koagulan biasa seperti Aluminium Sulfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ) [16]. Gambar 2 menunjukkan efektivitas PAC pada kekeruhan dan warna, dengan dosis optimum sebesar 1,35 mg/L. pH menurun sebesar 0,5% yang ditunjukkan pada Gambar 3.

E. Uji Efektivitas dan Efisiensi Biokoagulan Tepung Jagung

Variabel dosis biokoagulan tepung jagung yang digunakan sebesar 10 mL/L hingga 120 mL/L. Gambar 4 menunjukkan bahwa persentase *removal* kekeruhan paling optimum ada pada dosis 90 mL/L yang mampu menghilangkan kekeruhan sebesar 40,86%. Sedangkan untuk nilai pH rata-rata menunjukkan penurunan dari pH awal, yakni sebesar 0,4%, yang ditunjukkan pada Gambar 5.

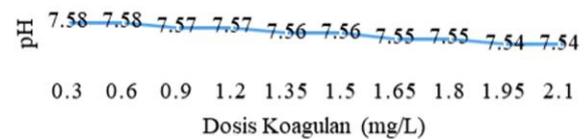
F. Uji Efektivitas dan Efisiensi 75% PAC : 25% Biokoagulan Tepung Jagung

Langkah pertama adalah pembuatan larutan induk yang dibuat dengan perbandingan 75% PAC : 25% Biokoagulan

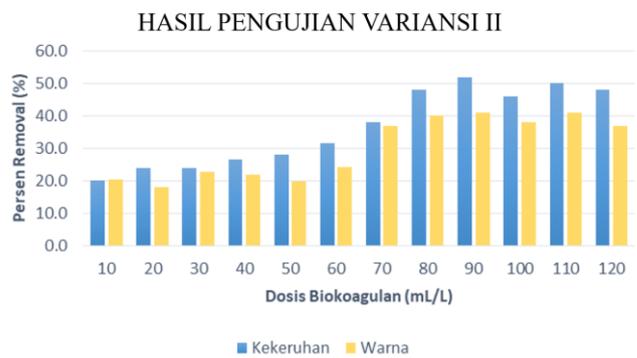


Gambar 2. Uji efektivitas PAC.

HASIL PENGUJIAN VARIANSI I

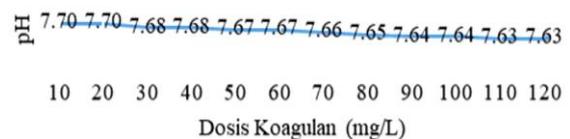


Gambar 3. Pengaruh dosis variasi I terhadap pH.



Gambar 4. Uji efektivitas biokoagulan tepung jagung.

HASIL PENGUJIAN VARIANSI II



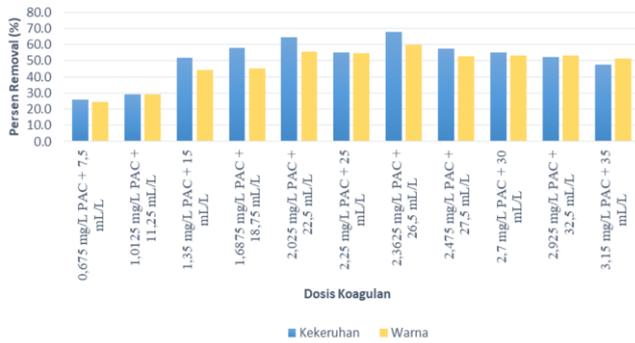
Gambar 5. Pengaruh dosis variasi II terhadap pH.

tepung jagung. Variabel dosis kombinasi PAC dan biokoagulan tepung jagung yang digunakan sebesar 30 mL/L hingga 140 mL/L. Gambar 6 menunjukkan bahwa campuran koagulan ini mampu mereduksi kekeruhan dan warna secara optimum pada 67,7% dan 59,97%, dengan pH menurun sebesar 0,4%, yang ditunjukkan pada Gambar 7.

G. Uji Efektivitas dan Efisiensi 50% PAC : 50% Biokoagulan Tepung Jagung

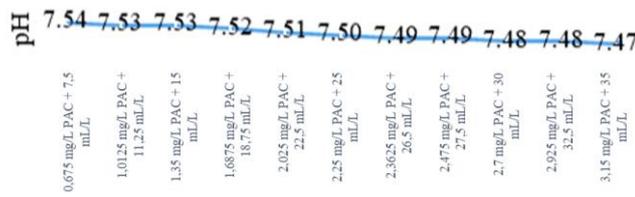
Langkah pertama adalah pembuatan larutan induk yang dibuat dengan perbandingan 50% PAC : 50% Biokoagulan tepung jagung. Variabel dosis kombinasi PAC dan biokoagulan tepung jagung yang digunakan sebesar 30 mL/L hingga 150 mL/L. Gambar 8 menunjukkan bahwa campuran koagulan ini mampu mereduksi kekeruhan dan warna secara optimum pada 48,4% dan 36,2%, dengan pH menurun sebesar 0,6%, yang ditunjukkan pada Gambar 9.

HASIL PENGUJIAN VARIANSI III



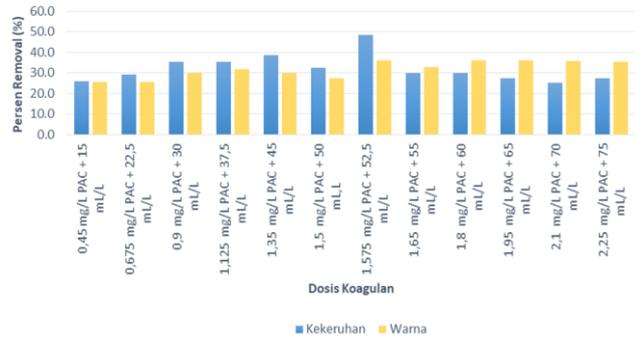
Gambar 6. Uji efektivitas 75% PAC : 25% biokoagulan tepung jagung.

HASIL PENGUJIAN VARIANSI III



Gambar 7. Pengaruh dosis variasi III terhadap pH.

HASIL PENGUJIAN VARIANSI IV



Gambar 8. Uji efektivitas 50% PAC : 50% biokoagulan tepung jagung.

H. Uji Efektivitas dan Efisiensi 25% PAC : 75% Biokoagulan Tepung Jagung

Variabel dosis kombinasi PAC dan biokoagulan tepung jagung yang digunakan sebesar 25 mL/L hingga 105 mL/L. Gambar 10 menunjukkan bahwa campuran koagulan ini memiliki kemampuan mereduksi kekeruhan dan warna sebesar 32,1% dan 28,6%, dengan pH menurun sebesar 0,3%, yang ditunjukkan pada Gambar 11.

I. Pembahasan

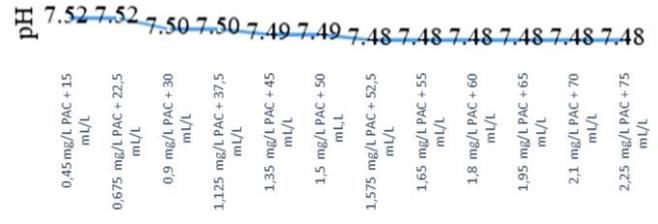
Hasil uji *jar test* dengan menggunakan koagulan PAC dan biokoagulan dari tepung jagung menunjukkan bahwa keduanya mampu menurunkan polutan dalam air. Reaksi yang terjadi dalam koagulasi dengan menggunakan PAC ditunjukkan pada reaksi (1).



Proses ini menunjukkan bahwa terbentuknya presipitat  $Al(OH)_3$  akan menjebak partikel koloid dan mengumpulkannya sehingga terbentuk flok [17]. Dari reaksi tersebut juga dapat dilihat bahwa pada reaksi hidrolisis PAC dilepaskan 1 buah ion  $H^+$ . Hal ini akan menyebabkan pH air yang menggunakan PAC akan menjadi lebih asam.

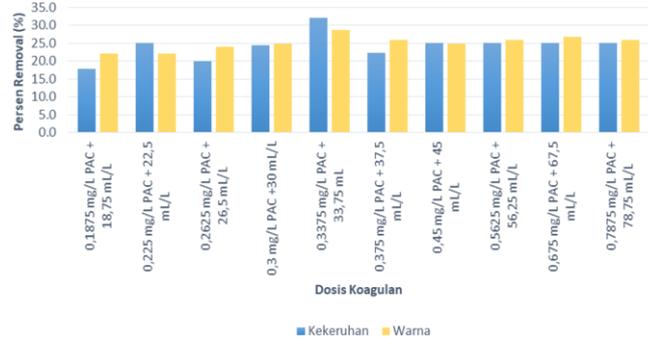
Adanya polimer yang terkandung dalam biokoagulan tepung jagung telah diuji spektrum inframerah, dan

HASIL PENGUJIAN VARIANSI IV



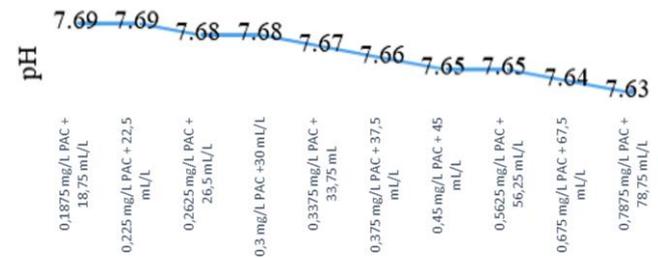
Gambar 9. Pengaruh Dosis Variasi IV terhadap pH.

HASIL PENGUJIAN VARIANSI V



Gambar 10. Uji efektivitas 25% PAC : 75% biokoagulan tepung jagung.

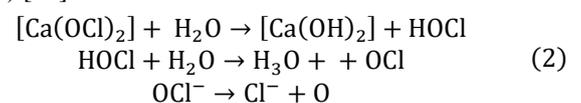
HASIL PENGUJIAN VARIANSI V



Gambar 11. Pengaruh dosis variasi V terhadap pH.

menunjukkan adanya polimer yang mengandung gugus karboksil, hidroksil dan amida. Ketiga gugus tersebut merupakan komponen aktif dan berperan sebagai koagulan. Polimer tersebut dapat mengikat partikel koloid dan membentuk flok yang dapat mengendap. Polimer ini bersifat polielektrolit [8]. Adanya gugus amida dapat mengikat ion  $H^+$  sehingga membentuk gugus  $NH_3^+$ , sehingga perbedaan energi antara partikel koloid dan tepung jagung menyebabkan partikel koloid tertarik pada biokoagulan sehingga menyebabkan terbentuknya flok [17]. Tabel 1 menunjukkan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing koagulan [18-20].

Nilai pH rata-rata menunjukkan penurunan dari pH awal. Hal ini dikarenakan kaporit di dalam air mengalami hidrolisis membentuk senyawa  $Ca(OH)_2$  dan  $HOCl$ . Senyawa  $HOCl$  segera terurai membentuk ion  $H^+$ , sehingga perbandingan ion  $H^+$  lebih besar dari pada ion  $OH^-$ , yang menyebabkan larutan bersifat asam. Reaksi penguraian kaporit ditunjukkan pada reaksi (2) [21].



Akan tetapi, terbentuknya kalsium hidroksida ( $Ca(OH)_2$ ) yang memiliki sifat alkalin akan menyebabkan meningkatnya alkalinitas dalam air. Alkalinitas adalah parameter yang menunjukkan banyaknya air untuk menetralkan asam tanpa mengubah pH dalam air. Alkalinitas merupakan penyangga

Tabel 1.  
Kelebihan dan Kekurangan Kedua Jenis Koagulan

	Kelebihan	Kekurangan
PAC	Korosivitasnya rendah karena PAC adalah koagulan bebas sulfat sehingga aman dan mudah dalam penyimpanan dan transportasinya. pH air hasil pengolahan tidak mengalami penurunan pH yang cukup tajam.	Lumpur alum yang dihasilkan dapat berpotensi mencemari badan air karena lumpur alum mengandung berbagai kontaminan seperti partikel padat, senyawa organik, anorganik, logam aluminium serta mikroorganisme patogen yang bersifat toksik.
Biokoagulan Tepung Jagung	Bersifat <i>biodegradable</i> yang tidak menghasilkan efek samping seperti lumpur alum. Koagulan alami menghasilkan volume lumpur lima kali lebih rendah dibandingkan dengan garam anorganik. Koagulan alami yang diekstraksi dari tumbuhan dan hewan merupakan alternatif yang dapat terurai secara hayati, aman bagi kesehatan manusia dan memiliki kisaran dosis yang lebih luas untuk flokulasi berbagai suspensi koloid.	Perlu diperhatikan dalam pelaksanaannya, saat pelaksanaan <i>mixing</i> ada yang terlarut dan ada yang tersisa dalam air. Maka diperlukan pengolahan lebih lanjut dalam penghilangannya sebelum didistribusikan. Perlu perhatian khusus terkait dengan reaksi pembusukan apabila terendap dalam unit pengolahan. Hal ini berkaitan dengan proses pembusukan yang diakibatkan oleh udara mengandung bakteri maupun polutan.

atau *buffer* terhadap pengaruh asam, yang dipengaruhi oleh komposisi mineral, pH, suhu, dan kekuatan ion [22].

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Tepung Jagung dapat dijadikan sebagai alternatif biokoagulan karena didasarkan pada sifatnya yang polielektrolit. Gugus yang berperan pada proses koagulasi adalah gugus karboksil, hidroksil dan amida, yang menyebabkan larutan elektrolit ini bermuatan negatif. Hasil koagulasi menunjukkan adanya penurunan kekeruhan pada air, yakni mereduksi kekeruhan pada air sebesar 52%. Sedangkan *Poly Aluminum Chloride* (PAC) akan membentuk presipitat  $Al(OH)_3$  pada air, yang kemudian menjebak partikel koloid hingga terbentuknya flok. Sehingga mampu menurunkan kekeruhan hingga sebesar 93,2%. (2) *Poly Aluminum Chloride* (PAC) memiliki kemampuan yang paling baik untuk mereduksi kekeruhan dan warna pada air dengan kekeruhan 28 NTU daripada biokoagulan dari tepung jagung. Hal ini dibuktikan dengan menurunnya kekeruhan hingga 93,2% hingga memperoleh kekeruhan yang telah memenuhi baku mutu. Serta mampu menurunkan warna sebanyak 86,6%. Sedangkan Biokoagulan dari tepung jagung hanya mampu mereduksi kekeruhan sebesar 52% dan warna sebesar 40,9%. Untuk variasi dosis dengan koagulan kombinasi antara PAC dan Biokoagulan tepung jagung memiliki kemampuan paling baik pada komposisi 75% PAC:25% Biokoagulan. Dengan kemampuan *removal* kekeruhan sebesar 67,7% dan mereduksi warna sebesar 60%. Sehingga dapat dikatakan PAC berperan cukup dominan dan efektif pada komposisi ini. PAC sering digunakan sebagai koagulan karena lebih cepat membentuk flok dari pada koagulan biasa. Serta lebih mudah didapat dan memiliki harga yang cukup murah. (3) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan tepung jagung sebagai biokoagulan, seperti terkait dengan jumlah kandungan gugus yang berperan dalam proses koagulasi, dan pH optimum. Serta penelitian mengenai karakteristik beserta pengolahan ataupun pemanfaatan lumpur dari hasil penggunaan tepung jagung sebagai koagulan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Singh dan P. Kumar, "Pre-treatment of petroleum refinery wastewater by coagulation and flocculation using mixed coagulant: Optimization of process parameters using response surface methodology (RSM)," *J. Water Process Eng.*, vol. 36, hal. 101317, Agu 2020, doi: 10.1016/J.JWPE.2020.101317.
- [2] Mark M. Benjamin dan Desmond F. Lawler, *Water Quality Engineering: Physical Chemical Treatment Processes*. United States: John Wiley & Sons, Inc, 2013. ISBN: 978-1-118-16965-0.
- [3] J. Bratby, *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*, 3rd ed. London: IWA Publishing, 2006. ISBN: 9781780407500.
- [4] S. B. Kurniawan *et al.*, "Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, no. 24, hal. 1–33, 2020, doi: 10.3390/ijerph17249312.
- [5] E. Prihatinningtyas, "Aplikasi koagulan alami dari tepung jagung dalam pengolahan air bersih," *J. Teknosains*, vol. 2, no. 2, Jun 2013, doi: 10.22146/teknosains.5999.
- [6] A. Elissa dan S. K. Saptomo, "Analisis timbulan lumpur dan kualitas lumpur hasil proses pengolahan air bersih di wtp kampus ipb dramaga bogor," *J. Tek. Sipil dan Lingkungan*, vol. 5, no. 1, hal. 31–40, 2020, doi: 10.29244/jsil.5.1.31-40.
- [7] O. Adnan, Z. Z. Abidin, A. Idris, S. Kamarudin, dan M. S. Al-Qubaisi, "A novel biocoagulant agent from mushroom chitosan as water and wastewater therapy," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 24, hal. 20104–20112, 2017, doi: 10.1007/s11356-017-9560-x.
- [8] E. Prihatinningtyas dan A. J. Effendi, "Aplikasi tepung jagung sebagai koagulan alami untuk mengolah limbah cair tahu," *J. Teh. Lingkung.*, vol. 18, no. 1, hal. 97–105, 2012, doi: 10.5614/jtl.2012.18.1.10.
- [9] S. A. Oktaviasari dan M. Mashuri, "Optimasi parameter proses jar test menggunakan metode taguchi dengan pendekatan per-topsis (studi kasus: pdam surya sembeda kota Surabaya)," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [10] H. Husaini, S. S. Cahyono, S. Suganal, dan K. N. Hidayat, "Perbandingan koagulan hasil percobaan dengan koagulan komersial menggunakan metode jar test," *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 14, no. 1, hal. 31, 2018, doi: 10.30556/jtmb.vol14.no1.2018.387.
- [11] M. B. Zobkov dan M. V. Zobkova, "New spectroscopic method for true color determination in natural water with high agreement with visual methods," *Water Res.*, vol. 177, hal. 115773, 2020, doi: 10.1016/j.watres.2020.115773.
- [12] S. Hamzani, S. Suhenry, dan I. Pramudyo, "Penurunan kekeruhan dan warna air sumur gali menggunakan koagulan biji kelor dan filtrasi karbon aktif," *J. Purifikasi*, vol. 14, no. 1, hal. 65–71, 2014, doi: 10.12962/j25983806.v14.i1.10.
- [13] M. R. Islam *et al.*, "A study on total dissolved solids and hardness level of drinking mineral water in Bangladesh," *Am J Appl Chem*, vol. 4, no. 5, hal. 164–169, 2016.
- [14] P. Qi *et al.*, "Image fiber-based miniature suspended solid sensor with high accuracy and a large dynamic range," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, hal. 16798, 2017, doi: 10.1038/s41598-017-17003-y.
- [15] K. Susumu, "Integrated design of water treatment facilities," *Choice Rev. Online*, vol. 29, no. 04, hal. 29-2124-29–2124, 1991, doi: 10.5860/choice.29-2124.
- [16] R. Khawaga, M. Abouleish, N. Abdel Jabbar, dan S. Al-Asheh, "Chlorination breakpoint with nitrite in wastewater treatment: A full factorial design experiments," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 9, no. 1, hal. 104903, 2021, doi: 10.1016/j.jece.2020.104903.
- [17] C. D. Triastiningrum dan A. Purnomo, "Perbandingan kemampuan kitosan dari limbah kulit udang dengan aluminium sulfat untuk menurunkan kekeruhan air dari outlet bak prasedimentasi IPAM

- Ngagel II,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [18] A. Budiman, C. Wahyudi, W. Irawati, dan H. Hindarso, “Kinerja Koagulan poly aluminium chloride (pac) dalam penjernihan air sungai kalimas surabaya menjadi air bersih,” *Widya Tek.*, vol. 7, no. 1, hal. 25–34, Sep 2017, doi: 10.33508/WT.V7I1.1258.
- [19] S. Adityosulindro, N. H. Rochmatia, D. M. Hartono, dan S. S. Moersidik, “Evaluasi Kualitas dan kuantitas lumpur alum dari instalasi pengolahan air minum citayam,” *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 21, no. 2, hal. 157–164, 2020, doi: 10.29122/jtl.v21i2.4049.
- [20] F. Mohd Omar, H. Sohrab, dan T. Tjoon Tow, “Semiconductor wastewater treatment using tapioca starch as a natural coagulant,” *J. Water Resour. Prot.*, vol. 5, no. 11, hal. 1018–1026, 2013, doi: 10.4236/jwarp.2013.511107.
- [21] I. Nuraini dan H. Darpito, “Pengaruh pembubuhan kaporit terhadap ph dan amonia effluent pengolahan air limbah rumah sakit,” *Jurnal TechLINK*, vol. 2 no. 1, 2018. ISSN 2581-2319.
- [22] M. R. A. F. Assyakiri, H. Rahmi, dan A. Neris, “Kebutuhan dosis kapur tohor dalam penetralan air asam tambang kpl pit 1 timur banko barat pt bukit asam,” *J. Ilm. Multidisiplin Indones.*, vol. 02, no. Spesial Issues 1 SE-Articles, hal. 292–301, Jan 2022, doi: 10.32670/ht.v2iSpesial Issues 1.1181.