

## KOAGULASI MENGGUNAKAN ALUM DAN PACI

Winarni

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan,  
Universitas Trisakti, Jakarta 11440, Indonesia

---

### Abstrak

Koagulasi terjadi karena adanya interaksi antara produk hidrolisa aluminum dengan kontaminan seperti partikel koloid. Berbagai spesies aluminum yang mungkin hadir pada kondisi tertentu perlu diperhatikan, mengingat bahwa mekanisme penurunan kekeruhan sangat tergantung pada spesies tersebut. PACI terdiri dari produk hidrolisa aluminum yang telah dibuat terlebih dahulu, dimana produk ini stabil pada pH di bawah 6 serta kurang sensitif dibandingkan dengan produk hidrolisa *in situ* yang dihasilkan dari alum. Keuntungan PACI dibandingkan alum diteliti sebagai fungsi dari pH dan dosis Al. Juga dibahas tentang kondisi spesifik dan spesies aluminum yang hadir dalam mekanisme koagulasi tertentu. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa PACI lebih efektif daripada alum pada rentang pH yang rendah dan pH tinggi, sedangkan penggunaan alum optimum pada kondisi netral.

### Abstract

**Alum and PACI Coagulation.** Coagulation occurs by interaction of aluminum hydrolysis products with the contaminant such as colloidal particles. It is necessary to consider the different aluminum species that may present during specific conditions, since the mechanism of turbidity removal is dependent upon them. PACI consists of preformed aluminum hydrolysis products, which are stable below pH 6 and less sensitive than *in situ* hydrolysis product, alum. The benefits of PACI relative to alum have been investigated as a function of pH and Al dosages. Specific conditions and aluminum species that exist during the certain mechanisms of coagulation are discussed. Results suggest that PACI is more effective than alum in lower pH range and high pH range, whereas alum is optimum in the neutral condition.

*Keywords: aluminum, charge neutralization, sweep coagulation*

---

### 1. Pendahuluan

Perhatian utama pengolahan air minum konvensional adalah menghilangkan kekeruhan dan kontaminan lainnya yang terkandung dalam air baku. Koagulan, terutama alum dan ferri, umumnya digunakan untuk mendapatkan penurunan kekeruhan. Selain itu juga diinginkan suatu koagulan yang dapat memberikan: penurunan kekeruhan secara ekstensif, biaya bahan kimia yang rendah, biaya konstruksi rendah, penurunan volume lumpur koagulan yang dihasilkan, serta sisa zat kimia berbahaya yang rendah.

Garam-garam aluminum merupakan koagulan yang digunakan secara luas pada pengolahan air minum. Dengan menggunakan koagulan berbasis aluminum, air dengan perbedaan karakteristik kimiawi dan biologi yang besar berhasil diolah dengan baik. Proses koagulasi yang terjadi merupakan interaksi antara partikel koloid (kontaminan) dengan produk hidrolisa

aluminum yang terbentuk dengan cepat saat proses pengadukan cepat.

Penelitian mengenai reaksi hidrolisa aluminum telah digunakan secara ekstensif oleh para peneliti untuk menjelaskan mekanisme koagulasi yang terjadi, karena mekanisme yang terjadi sangat tergantung dari spesies aluminum yang terbentuk dan kemudian bereaksi dengan partikel koloid. Jadi spesies aluminum yang hadir pada pH tertentu diasumsikan merupakan spesies yang dominan dalam proses koagulasi. Tetapi reaksi kimia dari aluminum sangat kompleks dan setelah pembubuhan koagulan aluminum ke dalam air terdapat banyak kemungkinan jalur reaksi yang berlangsung. Dan juga diketahui bahwa pembentukan spesies aluminum dipengaruhi oleh konsentrasi aluminum, pengadukan, tipe dan konsentrasi anion. Sehingga tidaklah mengherankan jika para peneliti dalam studi mereka mengusulkan berbagai spesies aluminum berbeda yang berperan dalam koagulasi, terutama polimer. Bahkan dalam studi hidrolisa aluminum

ditemukan bahwa pada kondisi yang sama, dengan hadirnya substansi organik, tidak menjamin terbentuknya spesies aluminum yang sama karena adanya reaksi kompetisi antara aluminum dan substansi organik [1].

Pada dekade terakhir ini, terjadi peningkatan penggunaan bentuk terpolimerisasi dari spesies aluminum sebagai koagulan di pengolahan air. Dan karena adanya kemungkinan untuk membentuk spesies aluminum terhidrolisa sebagian sebelum koagulan dibubuhkan ke dalam air, maka situasi yang disukai dapat diciptakan untuk pembentukan polimer hidrolisa aluminum tertentu, yaitu  $Al_{13}$ . Polimer ini tidak dapat terbentuk pada larutan encer jika waktu reaksi yang tersedia terbatas, dan jika terdapat *ligand* lainnya di luar hidroksida yang berkompetisi untuk aluminum. Umumnya bentuk yang digunakan adalah polialuminum klorida (PACl), yang diproduksi dengan hidrolisa partial aluminum klorida pada kondisi tertentu. PACl mengandung polimer aluminum kationik yang stabil.

Tidak seperti produk hidrolisa aluminum dari koagulan alum yang terbentuk *in situ* (setelah pembubuhan alum ke dalam air), produk hidrolisa aluminum parsial sudah terkandung di dalam PACl dan siap digunakan untuk koagulasi. Karena diperlukan kondisi khusus untuk pembentukan  $Al_{13}$ , maka sangat besar kemungkinannya bahwa spesies ini bukanlah merupakan spesies aluminum utama yang terbentuk pada saat alum dibubuhkan ke dalam air, kecuali jika spesies ini dibuat terlebih dahulu [2]. Selain itu juga ditemukan adanya spesies aluminum yang berbeda antara PACl dan produk hidrolisa alum *in situ* [1]. Dan karena produk hidrolisa dari PACl telah terbentuk sebelumnya maka PACl menjadi kurang sensitif dibandingkan dengan alum, dimana pembentukan produk hidrolisa aluminum dari alum sangat tergantung pada kondisi proses, misalnya pH.

Agar proses koagulasi dapat memberikan hasil yang optimum di instalasi, maka dampak atau hasil koagulasi dengan menggunakan suatu koagulan untuk air baku dengan kualitas tertentu harus dapat diprediksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan alum dan PACl sebagai koagulan pada suspensi kaolin - asam humat dengan melakukan evaluasi penurunan kekeruhan yang dicapai oleh kedua koagulan ini sebagai fungsi dari pH dan dosis koagulan.

## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan air baku sintetis untuk menghindari timbulnya kesulitan akibat adanya variasi dari kualitas air baku alami. Air baku sintetis dibuat menyerupai karakteristik air baku alami dengan menggunakan kaolin yang mewakili *suspended solids* dan asam humat mewakili materi organik. Kaolin yang digunakan adalah kaolin murni produksi *Riedel de*

*Haen*. Produk ini dipilih karena memberikan hasil kekeruhan yang dapat dikontrol dalam skala laboratorium. Sedangkan asam humat yang digunakan merupakan produksi dari Acros.

Model suspensi disiapkan sehari sebelum percobaan, menggunakan air perpipaan. Suspensi diaduk terlebih dahulu dan didiamkan dalam kondisi yang tenang selama 15 jam agar terjadi pengendapan partikel kasar dan memberikan suspensi yang stabil. Perlakuan ini juga memberikan karakteristik suspensi yang relatif sama pada tiap *batch* dari suspensi air baku. Dari uji pendahuluan diperoleh hasil yang signifikan dalam memproduksi air baku dengan karakteristik yang sama. Penelitian ini menggunakan dua model suspensi air baku yaitu kekeruhan tinggi dan kekeruhan rendah dengan unit kekeruhan FNU (*Formazine Nephelometric Units*) karakteristik kontaminan utama terdapat pada Tabel 1.

Penelitian dilakukan secara *batch* dalam skala laboratorium dengan menggunakan *jar-test*, yang juga merupakan simulasi dari operasional proses pengolahan konvensional (koagulasi, flokulasi, dan pengendapan). *Jar-test* dilaksanakan pada temperatur kamar menggunakan peralatan *jar-test* model C6F dilengkapi 6 padel dari *Velp Scientifica*.

Penelitian dilaksanakan dalam seri *jar-test* (2 replikat) pada pH konstan dengan variasi dosis Al total ( $Al_T$ ). Dosis alum dan PACl yang digunakan berada dalam rentang 0.27 – 4.5 mg/l  $Al_T$  yang setara dengan 3 - 50 mg/l filter alum ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14.3H_2O$  BM=599.4 gr) dimana dosis ini umumnya tertera dalam diagram koagulasi alum. Variasi pH koagulasi (5,6,7 dan 8) dilakukan pada seri *jar-test* yang berbeda, dan pengaturan pH dilakukan melalui penambahan NaOH atau HCl. Pada setiap seri pH yang diteliti terdapat sampel kontrol yang menerima perlakuan sama tanpa penambahan koagulan.

Larutan alum 0.075 M Al disiapkan dari reagen analitik  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , sedangkan larutan PACl 0.075 M Al disiapkan dari larutan stok PACl 2.4 M Al produk

Tabel 1. Karakteristik suspensi model air baku

Karakteristik kontaminan	Konsentrasi
Suspensi air baku tipe 1	
- Kaolin	200 mg/l
- Asam humat	5 mg/l
- Kekeruhan	132 ± 3.7 FNU
- DOC	2.6 ± 0.18 mg/l
Suspensi air baku tipe 2	
- Kaolin	20 mg/l
- Asam humat	5 mg/l
- Kekeruhan	13.7 ± 0.5 FNU
- DOC	2.8 ± 0.11 mg/l

komersial, *Sachtoklar*, yang diproduksi oleh *Sachtleben Chemie GmbH* dengan kandungan 10.2%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 9.0%  $\text{Cl}$ , dan 3.0%  $\text{SO}_4$ . Semua pembuatan larutan menggunakan air demineral.

Pada *jar-test* digunakan *beaker* berukuran 1 liter yang diisi dengan 900 ml suspensi air baku. Sampel diaduk cepat pada kecepatan pengadukan 200 *rpm* yang diikuti dengan pembubuhan koagulan dan titran pH ( $\text{NaOH}$  atau  $\text{HCl}$ ) tepat di tengah *vortex* yang terbentuk akibat pengadukan. Setelah pembubuhan, pengadukan cepat dilakukan selama 1 menit dan dilanjutkan dengan pengadukan lambat pada 30 *rpm* selama 25 menit, kemudian diikuti dengan pengendapan selama 30 menit.

Sampel untuk analisa diambil dari *supernatan* setelah proses pengendapan 30 menit selesai. Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan pipet secara berhati-hati agar tidak mengganggu endapan yang telah terbentuk. Karena prosedur *sampling* ini dilakukan secara *manual*, maka terdapat perbedaan waktu pengambilan sampel untuk tiap *beaker*, yang berarti menimbulkan perbedaan waktu pengendapan di tiap *beaker*, yang berkisar antara 30 menit untuk *beaker* pertama dan 40 menit di *beaker* terakhir. Namun dari tes pendahuluan diperoleh bahwa perbedaan waktu pengendapan diantara 6 *beaker* setelah adanya pengendapan selama 30 menit ternyata tidak signifikan.

Selanjutnya dilakukan pengukuran pH dan kekeruhan pada *supernatan* dengan menggunakan pH meter *portable* WTW tipe 323 dari *Retch BV*; serta turbidimeter model LTP4, *Trübungspotometer*, yang menggunakan unit kekeruhan *FNU* (*Formazine Nephelometric Units*). Sisa aluminium diukur menggunakan *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer* (*GFAAS*) pada filtrat yang telah melalui penyaringan *membrane filtration* (0.45  $\mu\text{m}$ ); hal mana mewakili sisa aluminium yang terkandung di sistem distribusi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Secara tipikal penurunan kekeruhan yang dihasilkan dari kombinasi antara dosis koagulan dan pH disajikan pada Gambar 1 dan 3 untuk koagulan alum, serta pada Gambar 2 dan 4 untuk koagulan  $\text{PACl}$ , masing-masing untuk suspensi tipe 1 dan 2.

Hasil penelitian ini juga dapat disajikan dalam bentuk diagram *isoremoval* (*isopleth*) penurunan kekeruhan 80% sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 untuk suspensi tipe 1 dan Gambar 6 untuk suspensi tipe 2; baik menggunakan koagulan alum maupun  $\text{PACl}$ . Pada diagram ini, pH dan dosis koagulan (dalam  $\log [\text{Al}]$ ,  $\text{mol/l}$ ) merupakan variabel yang independen. Metoda presentasi data ini memberikan gambaran secara umum yang mudah dalam mengambil keputusan tentang

kondisi yang dibutuhkan oleh instalasi pengolahan untuk mencapai efisiensi penurunan kekeruhan yang diinginkan. Korelasi antara dosis koagulan dalam  $\text{mg/l-Al}$  yang digunakan di penelitian ini dengan  $\text{mg/l-alum}$  sebagaimana umumnya yang digunakan di instalasi pengolahan, terdapat pada Tabel 2.

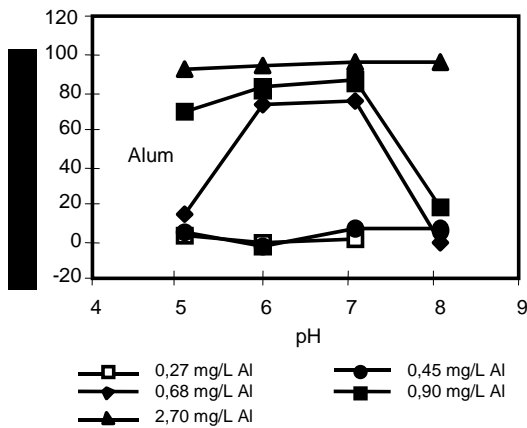
Gambar 1 dan 3 menunjukkan bahwa penurunan kekeruhan terbaik dengan menggunakan koagulan alum untuk suspensi tipe 1 dan 2 terjadi pada rentang pH 6.5-7.0, tidak terjadi restabilisasi pada rentang dosis pengamatan karena pada penelitian ini hanya digunakan dosis aluminium yang rendah serta dari presentasi data pada Gambar 5 dan 6 dapat dilihat bahwa pada  $\text{pH}<6.5$  dan  $\text{pH}>7.5$ , untuk mencapai efisiensi penurunan kekeruhan yang sama (80%), dibutuhkan dosis koagulan alum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kebutuhannya pada kondisi pH netral.

Berdasarkan diagram pemisahan spesies alum yang dilaporkan oleh Hundt dan O'Melia [3] diketahui bahwa monomer dan polimer aluminium hadir pada kondisi pH yang rendah, dan keberadaan spesies ini akan menurun secara drastis pada pH 4.5. Sejalan dengan kenaikan pH mulai dari titik ini ( $>4.5$ ) pembentukan presipitat  $\text{Al}(\text{OH})_3$  terjadi dan meningkat dengan cepat, dimana presipitat  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ini merupakan spesies yang paling dominan. Selain itu spesies polimer berukuran sedang juga ditemukan pada pH sekitar 5.0, namun kehadirannya tidak memiliki proporsi yang signifikan terhadap konsentrasi aluminium total. Demikian juga berdasarkan penelitian kelarutan yang dilakukan oleh Van Benschoten dan Edzwald [1] dilaporkan bahwa presipitat  $\text{Al}(\text{OH})_3$  mulai terbentuk pada pH sekitar 4.5. Pada  $\text{pH}<4.5$  dan  $\text{pH}>8.0$  sebagian besar aluminium hadir sebagai spesies terlarut.

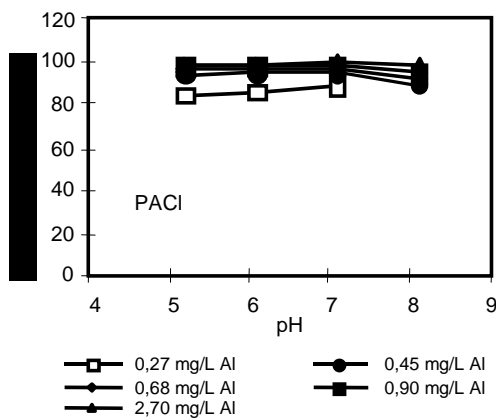
Mempertimbangkan hal tersebut pada alinea di atas, dapat dijelaskan bahwa penurunan kekeruhan terbaik dari suspensi tipe 1 maupun tipe 2 dengan menggunakan alum, yang terjadi pada pH 6.5-7, disebabkan oleh kehadiran yang dominan dari presipitat  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang mendorong bekerjanya mekanisme *sweep coagulation* atau pengebakan dalam presipitat  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

Tabel 2. Korelasi  $\text{mg/l Al}$ ,  $-\log [\text{Al}]$  dan alum

$\text{mg/l Al}$	$-\log [\text{Al}]$ $\text{mol/l}$	$\text{mg/l alum}$ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14.3\text{H}_2\text{O}$
0.27	5.0	3.0
0.45	4.8	5.0
0.68	4.6	7.5
0.90	4.5	10.0
2.70	4.0	30.0



Gambar 1. Penurunan kekeruhan suspensi tipe 1 dengan variasi pH dan dosis alum

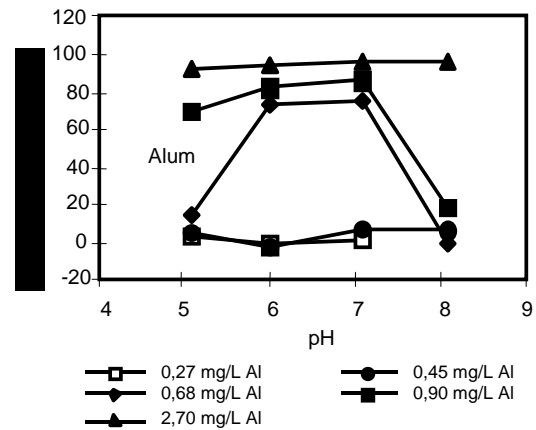


Gambar 2. Penurunan kekeruhan suspensi tipe 1 dengan variasi pH dan dosis PACI

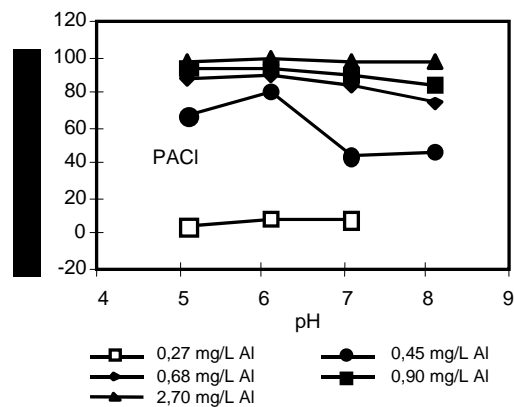
Mekanisme ini menghasilkan flok berukuran besar, sehingga memberikan penurunan kekeruhan dengan efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari mekanisme netralisasi muatan, karena mekanisme netralisasi muatan menghasilkan flok yang lebih halus serta berukuran lebih kecil.

Sedangkan pada pH operasi yang lebih rendah (pH 5.0) presipitat  $Al(OH)_3$  bersaing dengan polimer yang hadir serta jumlahnya tidak sebanyak pada kondisi pH netral, maka mekanisme koagulasi yang bekerja pada pH rendah adalah mekanisme netralisasi muatan dan bukannya *sweep coagulation* sehingga penjebaran partikel koloid pada flok  $Al(OH)_3$  tidak terjadi. Hal ini berdampak pada pencapaian penurunan kekeruhan yang tidak sebaik jika dibandingkan dengan penurunan kekeruhan dapat yang dicapai pada pH netral (Gambar 1, 3 dan 5). Pada mekanisme netralisasi muatan ini,

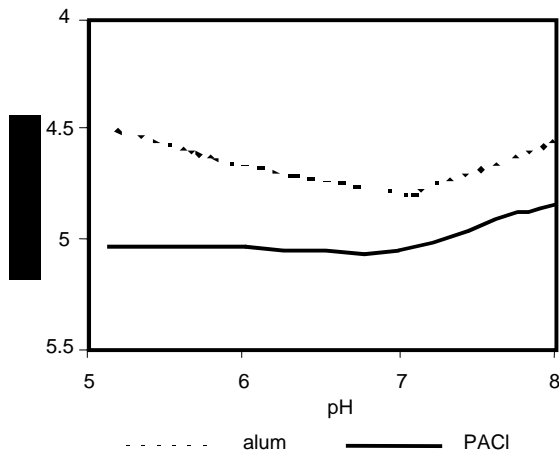
pembentukan presipitat  $Al(OH)_3$  terjadi mendahului proses netralisasi muatan; dan juga netralisasi muatan tidak membutuhkan kehadiran spesies aluminum terlarut. Dan karena spesies  $Al(OH)_3$  hadir pada  $pH > 4.5$  maka netralisasi muatan yang terjadi adalah disebabkan oleh adsorpsi presipitat  $Al(OH)_3$  yang bermuatan positif ke permukaan partikel koloid bermuatan negatif, hal mana menyebabkan perubahan karakteristik permukaan partikel dan pada akhirnya memperkecil gaya tolak sehingga memacu terjadinya koagulasi [4-5]. Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian Dentell dan Gossett [4] yang menunjukkan bahwa pada  $pH > 5.5$  netralisasi muatan pada partikel bermuatan negatif hanya terjadi setelah kelarutan aluminum hidroksida dilampaui. Dan hasil ini konsisten dengan hasil pemisahan spesies alum oleh Hundt dan O'Melia [3] sebagaimana telah dijelaskan pada alinea sebelumnya.



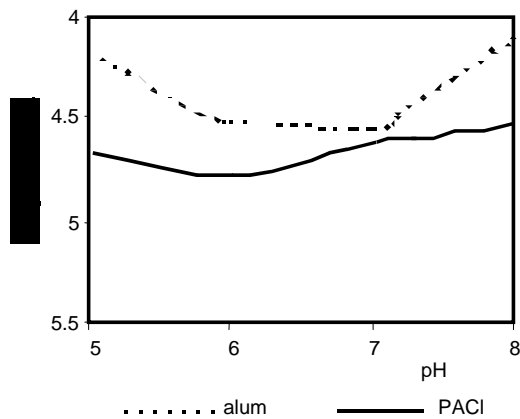
Gambar 3. Penurunan kekeruhan suspensi tipe 2 dengan variasi pH dan dosis alum



Gambar 4. Penurunan kekeruhan suspensi tipe 2 dengan variasi pH dan dosis PACI



Gambar 5. Isopleth 80% penurunan kekeruhan pada suspensi 1, dengan alum dan PACI



Gambar 6. Isopleth 80% penurunan kekeruhan pada suspensi 2, dengan alum dan PACI

Data juga mengindikasikan bahwa kenaikan dosis alum dapat memperluas rentang pH dalam penurunan kekeruhan; sebagai contoh pada suspensi tipe 1 dengan dosis alum 0.9 mg/l-Al diamati terjadinya penurunan kekeruhan pada rentang pH yang lebih lebar yaitu 5.5-7.0 (Gambar 1). Peningkatan dosis aluminium menyebabkan: (i) peningkatan pembentukan polimer aluminium yang menghasilkan terbentuknya presipitat  $Al(OH)_3$ , dan (ii) peningkatan jumlah presipitat tersebut akan diikuti oleh peningkatan frekuensi tumbukan sehingga terjadi peningkatan penurunan kekeruhan, yang pada akhirnya akan memperlebar

rentang pH operasi. Pada pH operasi yang rendah, kenaikan dosis aluminium menyebabkan berubahnya mekanisme koagulasi yang bekerja dari mekanisme netralisasi muatan menjadi penjebakan di dalam flok  $Al(OH)_3$ , sehingga efisiensi penurunan kekeruhan menjadi lebih baik.

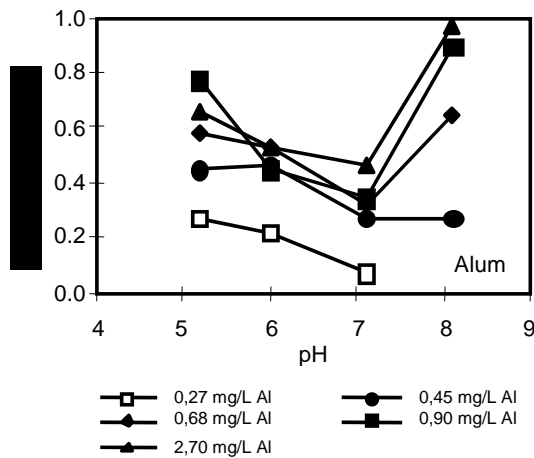
Reduksi efisiensi penurunan kekeruhan pada pH operasi tinggi (>7.0) dengan koagulan alum - seperti tampak pada Gambar 1,3,5 - disebabkan oleh berkurangnya jumlah presipitat  $Al(OH)_3$  dan terjadinya pembentukan spesies aluminium terlarut bermuatan negatif, yaitu ion aluminat, yang tidak bereaksi dengan partikel koloid bermuatan negatif. Kehadiran spesies aluminat ini dapat diobservasi dari adanya kandungan sisa aluminium yang tinggi di filtrat pada pH operasi tinggi, sebagaimana terdapat pada Gambar 7 yang merupakan tipikal hasil pemeriksaan sisa aluminium di filtrat untuk tiap suspensi dari kedua koagulan.

Gambar 2 dan 4 menunjukkan bahwa penurunan kekeruhan terbaik menggunakan koagulan PACI untuk suspensi tipe 1 dan 2 terjadi dalam kondisi asam (pH 5.0-6.5) dengan dosis koagulan yang dibutuhkan pada rentang pH tersebut ternyata relatif sama. Dan pada isopleth di Gambar 5 dan 6 tampak bahwa untuk mencapai efisiensi penurunan kekeruhan yang sama (80%) kebutuhan koagulan PACI mulai meningkat pada  $pH > 7.0$ .

Juga terlihat bahwa penurunan kekeruhan menggunakan koagulan PACI terjadi pada rentang pH yang lebih lebar untuk setiap dosis. Hal ini konsisten dengan hasil pemisahan spesies PACI oleh Hundt dan O'Melia [3], yaitu polimer berukuran sedang merupakan spesies dominan yang terdapat pada rentang pH 5.0-6.6; juga diindikasikan oleh van Benschoten dan Edzwald [1], yaitu bahwa bentuk spesies polimer dari PACI stabil pada pH di bawah 6 dan siap digunakan untuk proses koagulasi. Kehadiran polimer berukuran sedang tersebut memperkuat sinopsis bahwa mekanisme koagulasi yang terjadi adalah mekanisme netralisasi muatan dan *interparticle-bridging* (ikatan rantai polimer antar partikel). Serta spesies polimer ini tidak sensitif terhadap perubahan pH sehingga proses koagulasi dapat terjadi pada rentang pH yang lebar dan dengan dosis yang relatif sama.

Pada kondisi  $pH > 7.0$  terjadi reduksi efisiensi penurunan kekeruhan karena konsentrasi presipitat  $Al(OH)_3$  mulai meningkat pada  $pH > 5.5$ ; dan pada pH 6.6 konsentrasi presipitat  $Al(OH)_3$  melebihi konsentrasi polimer berukuran sedang, sehingga *sweep coagulation* menjadi mekanisme koagulasi yang utama dan efek *interparticle-bridging* menjadi berkurang. Pada  $pH > 7$  mulai terjadi pembentukan ion aluminat terlarut; dimana hal ini juga menyebabkan terjadinya peningkatan sisa

aluminum di filtrat kedua tipe suspensi tersebut dan mereduksi efisiensi penurunan kekeruhan.



Gambar 7. Sisa aluminum dari koagulasi suspensi tipe 1

Dengan membandingkan Gambar 5 dan 6 dapat dilihat bahwa PACl mampu untuk menggumpalkan partikel koloid pada dosis aluminum yang lebih rendah dibandingkan alum terutama pada kondisi asam (pH 5). Dan pada kondisi netral (pH 7) keefektifan PACl terhadap alum berkurang, bahkan pada air dengan kekeruhan rendah (suspensi tipe 2) diperlukan dosis aluminum yang hampir sama antara PACl dan alum. Hal ini disebabkan pada pH 5 PACl berbentuk sebagai spesies polimer yang memungkinkan adanya mekanisme *interparticle-bridging*, sehingga PACl dapat lebih efektif untuk melakukan kontak dengan partikel koloid daripada alum (ditinjau dari konsentrasi aluminum digunakan). Sedangkan pada pH 7, spesies yang dominan di kedua koagulan ini adalah spesies yang sama, yaitu presipitat  $Al(OH)_3$ , dan mekanisme yang bekerjanya sama, yaitu penjebaran dalam flok sehingga diperoleh kebutuhan aluminum yang hampir sama.

Selain itu ternyata pada pH operasi yang tinggi (pH>7), PACl mampu memberikan penurunan kekeruhan yang lebih baik dibandingkan alum, dimana hasil ini sesuai dengan hasil penelitian Dempsey *et. al.* [6]. Hal ini dijelaskan oleh studi Van Benschoten [1] bahwa pada bentuk fase solid PACl - yaitu dalam presipitat PACl - struktur polimeriknya tetap utuh, sehingga membantu dalam menjerat partikel koloid untuk menggumpal. Lebih jauh lagi, presipitat yang terbentuk dari PACl memiliki muatan positif dimana kehadiran partikel bermuatan positif merupakan pertimbangan penting dalam mengkoagulasi partikel koloid bermuatan negatif.

Dari Gambar 5 dan 6 juga dapat dilihat bahwa dosis aluminum yang dibutuhkan untuk penurunan kekeruhan 80% pada suspensi dengan kekeruhan rendah ternyata lebih tinggi daripada dosis yang diperlukan pada suspensi kekeruhan tinggi, baik untuk koagulan alum maupun PACl. Konsentrasi koloid yang tinggi berkorelasi dengan jumlah partikel yang tinggi di larutan sehingga dapat meningkatkan frekuensi tumbukan dari partikel yang sudah menjadi tidak stabil (terdestabilisasi) dan akhirnya dapat memperbaiki kinetika flokulasi. Dengan kata lain, jika konsentrasi partikel koloid terdispersi di larutan rendah maka kesempatan untuk terjadinya tumbukan antar partikel yang telah terdestabilisasi yang dapat memacu pertumbuhan flok sangatlah kecil, sehingga dibutuhkan dosis yang tinggi untuk pembentukan inti flok dan mengisi larutan dengan partikel-partikel terdispersi agar kontak antar partikel dapat terjadi.

#### 4. Kesimpulan

PACl memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan alum pada kondisi asam (pH 5-6.5) karena kemampuan netralisasi muatan yang dimiliki oleh spesies polimernya. Dan keefektifan PACl terhadap alum (dalam dosis aluminum) berkurang pada pH netral dan pada suspensi dengan kekeruhan rendah.

Sedangkan kondisi optimum menggunakan alum terjadi pada pH netral (6.5-7.0) dan pada kondisi ini kebutuhan aluminum baik dari PACl maupun alum hampir sama, karena adanya spesies yang sama yang bekerja pada mekanisme yang sama yaitu *sweep coagulation*. Namun pada kondisi basa (pH>7) PACl mampu memberikan hasil penurunan kekeruhan yang lebih baik dari alum karena presipitatnya tetap berbentuk polimer.

Kenaikan dosis alum meningkatkan penurunan kekeruhan serta memperlebar rentang pH operasi, karena kenaikan dosis ini mengakselerasi pembentukan presipitat  $Al(OH)_3$  dan bertambahnya frekuensi tumbukan.

Konsentrasi koloid yang tinggi memberikan peningkatan pada derajat penurunan kekeruhan pada dosis yang sama, dan juga memperlebar rentang pH operasi terutama pada penggunaan koagulan alum.

Agar dapat diperoleh pengertian yang lebih baik tentang koagulan alum dan PACl, diusulkan untuk melakukan penelitian *jar-test* pada air baku dengan konsentrasi kaolin sedang, yaitu 50 mg/l dan 100 mg/l dimana hal ini dapat mengeliminasi efek konsentrasi koloid tinggi pada proses koagulasi, seperti yang dijumpai pada suspensi tipe 1 di penelitian ini, sehingga observasi mekanisme koagulasi yang terjadi dapat dipelajari tanpa adanya pengaruh konsentrasi koloid yang tinggi. Serta diusulkan untuk memperluas dosis koagulan sehingga

dapat diamati terjadinya restabilisasi pada dosis koagulan yang tinggi, yang mana merupakan karakteristik dari mekanisme netralisasi muatan. Selain itu juga hal ini akan melengkapi diagram pH-dosis.

#### Daftar Acuan

- [1] J.E. Van Benschoten, J.K. Edzwald, *Water Research* 24 (1990) 1519.
- [2] B.A. Dempsey, R.M. Ganho, C.R. O'Melia, *Jour. AWWA* 76 (1984) 141.
- [3] T.R. Hundt, C.R. O'Melia, *Jour. AWWA* 80 (1988) 176
- [4] S.K. Dentel, J.M. Gossett, *Jour. AWWA* 80 (1988) 187.
- [5] R.D. Letterman, S.G. Vanderbrook, *Water Research* 17 (1983) 195.
- [6] B.A. Dempsey, H. Sheu, T.M. Tanzeer Ahmed, J.Mentink, *Jour. AWWA* 77 (1985) 74.

