

PENGGUNAAN ALUM DAN PAC PADA PROSES KOAGULASI AIR PERMUKAAN

Oleh:

**Ir. Winarni, M.Sc., IPM, ASEAN Eng
NIK: 2004/USAkti**

Juli 2024

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS ARSITEKTUR LANSKAP & TEKNOLOGI LINGKUNGAN
UNIVERSITAS TRISAKTI**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUNAAN ALUM DAN PAC PADA PROSES KOAGULASI AIR PERMUKAAN

DRPMF FALTL



Dr. Ir. Diana Irvindiaty Hendrawan, M.Si.
NIK: 1733/USAkti

Jakarta, 29 Juli 2024
Penulis



Ir. Winarni, M.Sc., IPM, ASEAN Eng
NIK: 2004/USAkti

Dekan

Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan



Melati Ferianita Fachrul, MS
NIK: 1922/USAkti

KATA PENGANTAR

Makalah ini merupakan suatu kajian dalam bidang air minum yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran yang jelas dan terukur mengenai gradien kecepatan pada proses koagulasi air permukaan dengan kekeruhan sedang di beberapa PDAM di Jawa Barat dan Banten.

Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran umum yang lebih mudah dalam pengambilan keputusan mengenai kondisi yang dibutuhkan dalam operasional instalasi pengolahan air minum, guna pencapaian efisiensi penurunan kekeruhan yang ditargetkan serta memenuhi persyaratan kualitas air minum sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan RI yang berlaku.

Penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran, maupun diskusi konstruktif sebagai perbaikan dan peningkatan mutu makalah ini. Demikian kajian ini kami susun, semoga dapat bermanfaat baik dalam bidang air minum, maupun sebagai masukan dalam pendidikan dan pengajaran.

Jakarta, 29 Juli 2024

Ir. Winarni, M.Sc., IPM, ASEAN Eng.

ABSTRAK

Koagulasi terjadi karena adanya interaksi antara koagulan dengan kontaminan seperti partikel koloid. Koagulasi merupakan proses penambahan koagulan pada air baku yang menyebabkan terjadinya destabilisasi dari partikel koloid agar terjadi agregasi dari partikel yang telah terdestabilisasi tersebut dan membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar, sehingga dapat dihilangkan pada unit sedimentasi. Pengadukan cepat bertujuan untuk mendispersikan koagulan secara merata ke dalam air baku untuk memacu pembentukan flok. Pada proses koagulasi menggunakan alum, interaksi yang terjadi adalah antara partikel koloid dengan produk hidrolisa aluminium yang terbentuk pada kondisi tertentu. Produk hidrolisa aluminium terbentuk dalam waktu yang sangat singkat sehingga diperlukan pengadukan dengan intensitas tinggi agar spesies ini dapat teradsorpsi di permukaan koloid. Makalah ini merupakan kajian awal berdasarkan operasional dari 11 unit koagulasi yang menggunakan baik alum maupun PAC. Air baku yang diolah adalah air permukaan dengan kekeruhan berkisar antara 20 – 224 NTU. Terdapat indikasi adanya peningkatan dosis alum yang digunakan seiring dengan peningkatan kekeruhan air baku dari kekeruhan rendah hingga sedang. Namun koagulan PAC menunjukkan kecenderungan penurunan dosis yang digunakan sesuai peningkatan kekeruhan air baku. Secara umum, IPA melakukan penurunan intensitas atau gradien kecepatan pengadukan sejalan dengan adanya peningkatan kekeruhan air baku

Kata kunci: koagulasi, alum, PAC, hidrolisa aluminium, gradien kecepatan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
BAB II KOAGULASI	3
2.1 Sistem Koloid	3
2.1.1 Partikel Koloid	3
2.1.2 Stabilisasi Koloid	3
2.1.3 Destabilisasi Koloid	5
2.2 Proses Koagulasi	6
2.3. Koagulan	7
2.3.1 Aluminium Sulfat	8
2.3.2 Polialuminium Klorida	10
BAB III METODE	12
3.1 Lokasi	12
3.2 Data dan Sumber Data	12
3.3 Analisa Data	12
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 Penerapan Koagulasi pada Instalasi Pengolahan Air Minum	14
4.2 Operasional Unit Koagulasi Alum	14
4.3 Operasional Unit Koagulasi PAC	18
BAB V SIMPULAN	21
DAFTAR PUSTAKA	22

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perhatian utama pada pengolahan air konvensional adalah menghilangkan kekeruhan dan kontaminan lainnya yang terdapat dalam air baku. Partikel koloid merupakan partikel diskrit yang terdapat dalam suspensi air baku, dan partikel inilah yang merupakan penyebab utama kekeruhan. Kekeruhan dan warna sebagai pengganggu dalam air dapat dihilangkan dengan pengolahan air konvensional dimana sebagai salah satu unitnya adalah koagulasi.

Keberhasilan dalam proses pengolahan air minum berkaitan erat dengan penurunan kekeruhan dan kontaminan lainnya yang terkandung dalam air baku, dengan penggunaan koagulan pada proses koagulasi yang digunakan dengan memperhatikan kualitas influent dari air yang diolah dan kualitas effluent yang diinginkan. Pada proses koagulasi, zat koagulan dibubuhkan pada air baku sehingga akan terjadi destabilisasi dari partikel koloid yang terkandung di air baku. Kemudian koloid-koloid akan menggumpal dan menjadi partikel dengan ukuran yang lebih besar (flok) pada proses flokulasi sehingga partikel-partikel tersebut dapat diendapkan.

Koagulasi adalah suatu proses penyebaran koagulan agar terjadi destabilisasi partikel koloid agar partikel koloid dapat bergabung pada unit flokulasi. Koagulan, terutama garam aluminum, umum digunakan untuk menghasilkan penurunan kekeruhan. Selain itu diinginkan pula koagulan yang dapat memberikan penurunan kekeruhan secara ekstensif dengan biaya rendah. Dengan menggunakan garam aluminum, air baku dengan perbedaan karakteristik kimiawi dan biologi berhasil diolah dengan baik.

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.

pH adalah salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi proses koagulasi. Bila proses koagulasi dilakukan tidak pada rentang pH optimum, maka akan mengakibatkan gagalnya proses pembentukan flok dan rendahnya kualitas air yang dihasilkan. Konsentrasi koloid juga merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan proses koagulasi. Jika konsentrasi koloid rendah maka proses destabilisasi koloid tidak terjadi dengan baik (Stumm dan O'Melia, 1982).

Pengaturan kecepatan pengadukan di unit koagulasi disesuaikan dengan pH operasional, jenis koagulan, serta mekanisme koagulasi yang bekerja. Hal ini akan mereduksi kesalahan dalam aplikasi pengaturan pengadukan yang (i) terlalu cepat dalam hal menggunakan mekanisme *sweep coagulation*, atau adsorpsi presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$, serta (ii) kurang cepat dalam hal

menggunakan mekanisme adsorpsi monomer dan polimer. Diperlukan penelitian yang lebih luas agar dapat memetakan secara terintegrasi pengaruh pengadukan pada proses koagulasi agar diperoleh operasional yang optimum.

1.2 Maksud dan Tujuan

Makalah ini dimaksudkan untuk melakukan pengamatan mengenai dan evaluasi pengaturan di unit koagulasi pada beberapa instalasi pengolahan air minum (IPA) di Provinsi Banten dan Provinsi Jawa Barat. Adapun tujuan dari penulisan ini adalah sebagai pemetaan awal terhadap kinerja unit koagulasi dalam menghasilkan flok yang dapat mengendap dengan baik, sehingga IPA dapat melakukan asesmen terhadap kinerja unit koagulasi agar diperoleh pengadukan yang optimum dan rendah energi.

BAB II KOAGULASI

2.1 Sistem Koloid

2.1.1 Partikel Koloid

Berbagai kontaminan di dalam air dapat dikategorikan berdasarkan ukurannya sebagai berikut (Benefield, 1982):

1. *Suspended solid* yaitu bahan-bahan tersuspensi (diameter $> 1 \mu\text{m}$) terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari pada sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme dan sebagainya.
2. *Colloidal particles* yaitu terbentuk dari *suspended solids*, tetapi dengan ukuran yang lebih kecil (diameter $1 \text{ nm} - 1 \mu\text{m}$) dan mengendap dengan sangat lambat. *Colloidal particles* ini juga merupakan penyebab kekeruhan dan warna.
3. *Dissolved substance* yaitu padatan yang mempunyai ukuran lebih kecil dari padatan tersuspensi kecil (diameter $1 \text{ nm} - 1 \mu\text{m}$). Padatan ini terdiri dari senyawa-senyawa anorganik dan organik yang larut dalam air, mineral dan garam-garaman.

Kekeruhan di dalam air disebabkan adanya zat-zat seperti lempung, lumpur, zat organik, plankton dan zat-zat halus lainnya, dimana berdasarkan ukurannya zat dominan penyebab kekeruhan ini berada dalam kategori sebagai partikel koloid. Ukuran partikel koloid berkisar antara $1 - 10 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ mm}$). Karena ukurannya cukup kecil, partikel koloid dapat tembus pada lubang- filtrasi biasa dan memiliki kecepatan pengendapan $6 - 10^{-7} \text{ m/jam}$, sehingga partikel koloid sulit mengendap. Agar partikel koloid tersebut dapat mengendap perlu adanya proses koagulasi dan flokulasi yang mengakibatkan partikel-partikel koloid menggumpal, sehingga mencapai ukuran partikel $> 1 \mu\text{m}$ dan memiliki kecepatan pengendapan $> 8,3 \times 10^{-2} \text{ cm/detik}$.

2.1.2 Stabilisasi Koloid

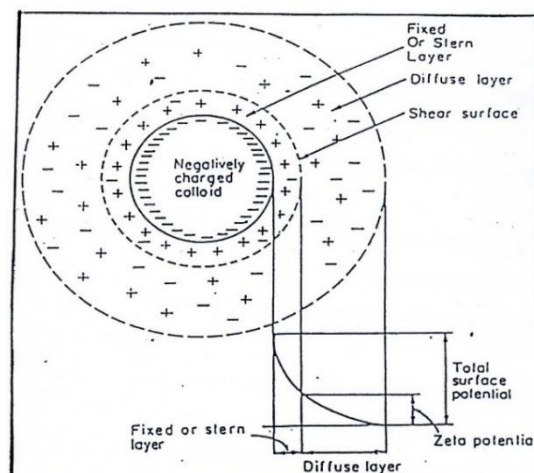
Stabilisasi koloid tergantung pada ukuran serta muatan elektrik yang dipengaruhi oleh kandungan kimia pada koloid dan pada media dispersi (seperti kekuatan ion, pH dan kandungan organik dalam air). Menurut Reynolds (1982) koloid dalam air terbagi dua berdasarkan gaya gabungannya (*affinity*), yaitu sifat *hydrophobic* (tidak senang air) dan *hydrophilic* (senang air). *Hydrophilic* mempunyai ikatan lebih kuat dengan air sehingga lebih stabil dan sulit untuk dipisahkan dari air, dibandingkan dengan *hydrophobic* (Sawyer, 1994). Kestabilan sistem koloid *hydrophilic* disebabkan adanya fenomena hidrasi, yaitu suatu keadaan dimana molekul-molekul air tertarik oleh permukaan koloid sehingga menyebabkan terhalangnya kontak antara koloid yang satu dengan koloid lainnya. Kestabilan partikel *hydrophilic* terjadi karena koloid-koloid bermuatan sejenis sehingga terjadi gaya tolak-menolak antar koloid. Sedangkan sifat *hydrophobic* memiliki *affinity* partikel yang lemah terhadap air dan memberikan stabilitas muatan listrik yang dimiliki. Kelompok ini adalah tanah liat, oksida metalik dan hidroksida.

Umumnya susunan koloid yang berada dalam suspensi merupakan koloid yang dihasilkan akibat adanya gaya elektrostatis. Permukaan koloid pada air adalah negatif, dan kandungan ion yang terdekat dengan koloid dalam air dipengaruhi oleh muatan permukaan. Keadaan ini menghasilkan lapisan rangkap listrik (*electric double layer*) yang terdiri dari (Gambar 2.1):

1. Lapisan Stern atau disebut juga *fixed layer*, merupakan adsorpsi ion yang berlawanan muatan dengan muatan permukaan koloid. Koloid pada air biasanya bermuatan negatif sehingga ion positif yang menyelimuti koloid tersebut disebut sebagai lapisan Stern. Lapisan inilah yang bergerak bersama koloid. Batasan antara permukaan partikel beserta muatannya dengan media air yang bergerak bersama partikel disebut *shear surface*.
2. Setelah lapisan Stern, lapisan berikutnya yang melapisi koloid adalah *diffuse layer*, dengan muatan campuran (positif dan negatif).

Adanya kestabilan koloid berhubungan dengan potensial zeta. Potensial zeta adalah potensi elektrostatis pada *shear surface*. Jika dua koloid saling berdekatan, maka akan terjadi dua gaya. Gaya pertama adalah potensial elektrostatis dengan ion-ion yang berlawanan di sekitar koloid yang menghasilkan gaya tolak-menolak antar partikel sehingga menghalangi terjadinya kontak. Gaya yang kedua adalah gaya tarik Van der Waals yang merupakan gaya tarik-menarik yang membantu terjadinya kontak antar partikel koloid tersebut. Jumlah kedua gaya tersebut merupakan energi *barrier* atau energi penghalang antara koloid (Reynolds, 1982).

Energi *barrier* yang ada harus dapat diatasi agar penggumpalan partikel dapat terjadi. Kestabilan koloid dapat dikurangi dengan memperkecil potensial zeta yang akan memperkecil energi *barrier*, yaitu dengan cara menambahkan ion dengan muatan yang berlawanan. Dengan bertambahnya ion muatan lawan, perbedaan muatan dapat dikurangi sehingga ketebalan lapisan difus maupun lapisan Stern berkurang pula yang memungkinkan partikel untuk saling berdekatan. Jika partikel cukup dekat satu sama lain, maka gaya tarik Van der Waals dan gerak Brownian yang merupakan karakteristik dari suspensi akan berkerja, menumbukkan partikel-partikel koloid tersebut sehingga terbentuk gumpalan flok yang cukup besar dan dapat diendapkan (Reynolds, 1982).



Gambar 2.1 Lapisan rangkap listrik (*electric double layer*) pada koloid bermuatan negatif (Reynolds, 1982)

2.1.3 Destabilisasi Koloid

Terdapat empat teori mekanisme terjadinya destabilisasi partikel koloid, yaitu: (i) pemampatan lapisan ganda, (ii) adsorpsi untuk menetralkan muatan, (iii) penjebakan partikel dengan koagulan, serta (iv) adsorpsi dan pembentukan jembatan antar partikel dengan penambahan polimer.

1. Pemampatan lapisan ganda

Ion-ion dalam air yang mengelilingi suatu koloid memiliki efek fungsi merusak potensi elektrostatik. Konsentrasi ion yang tinggi menekan susunan lapisan rangkap listrik utama, yaitu ion-ion yang berlawanan muatan terhadap permukaan koloid. Jika lapisan ini ditekan, maka gaya Van Der Waals akan menjadi dominan mempengaruhi seluruh wilayah, sehingga terjadi gaya tarik-menarik dan menurunkan energi *barrier* yang ada. Menurut Schulze dan Hardy (1900), efektifitas tiap koagulan ditentukan oleh valensi ion-ionnya. Semakin tinggi valensi ion koagulan tersebut, maka semakin efektif pula kinerjanya. Oleh karena itu, koagulan yang digunakan harus mempunyai muatan yang berlawanan dengan partikel agar terjadi destabilisasi.

2. Adsorpsi dan netralisasi muatan

Adsorpsi bahan kimia yang muatannya berlawanan dengan muatan koloid dapat menyebabkan potensial permukaan partikel koloid menjadi berkurang dan terjadi destabilisasi partikel koloid. Karakteristik dari mekanisme ini adalah:

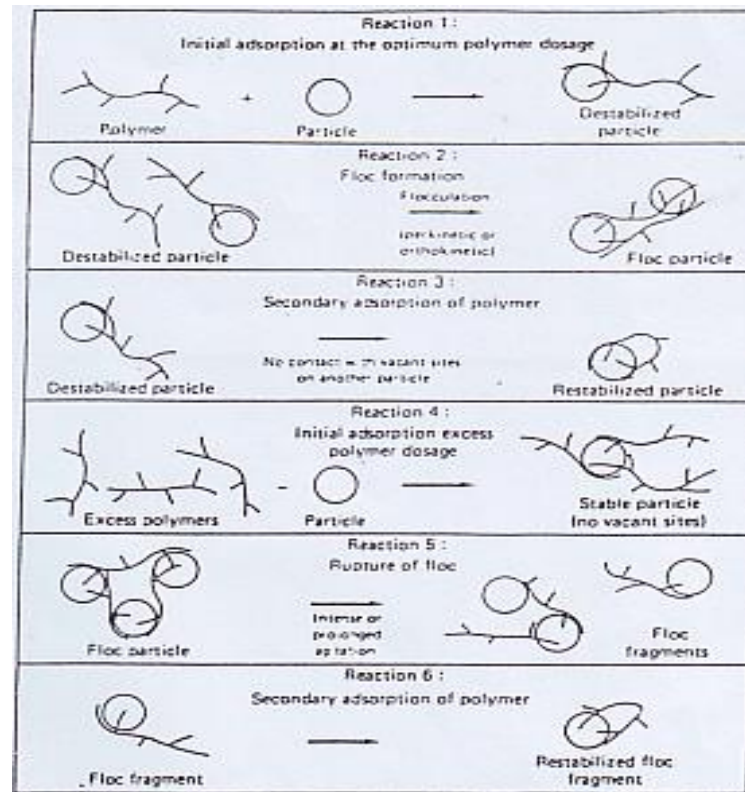
- Bahan yang teradsorpsi tersebut dapat mendestabilisasikan koloid dengan dosis bahan kimia yang jauh lebih rendah daripada mekanisme kompresi lapisan ganda.
- Destabilisasi secara adsorpsi bercirikan adanya hubungan stoikiometris antara dosis koagulan dengan meningkatnya konsentrasi koloid, dalam hal ini luas permukaan koloid.
- Jika dosis adsorpsi berlebih, dapat terjadi restabilisasi sebagai hasil pembalikan muatan pada partikel koloid.

3. Penjebakan dalam presipitat (*sweep floc coagulation*)

Terdapat pembentukan presipitat yang berlebihan dan terjadi penjebakan koloid dalam presipitat tersebut, disebut *sweep floc coagulation*. Dalam hal ini terjadi hubungan terbalik/inversi antara dosis koagulan optimum dan konsentrasi koloid. Pada konsentrasi koloid rendah, dibutuhkan banyak koagulan untuk menghasilkan sejumlah besar presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang akan menjebak partikel koloid yang jumlahnya hanya sedikit. Sedangkan pada konsentrasi koloid yang tinggi dibutuhkan dosis yang lebih rendah karena koloid tersebut berlaku sebagai inti untuk pembentukan presipitat (Stumm and O'Melia, 1962).

4. Adsorpsi dan jembatan (ikatan) antar partikel

Destabilisasi dengan adsorpsi dan jembatan antar partikel terjadi dengan penambahan polimer yang mempunyai ukuran molekul besar dan bermuatan elektrik sepanjang rantai molekulnya. Campuran alami seperti kanji, selulosa, getah polisakarida dan material protein dapat menjadi campuran polimer sintetik yang efektif sebagai koagulan. Material-material ini mempunyai ukuran molekul yang besar dan mempunyai bermacam-macam muatan listrik sepanjang rantai molekul atom karbon (Benefield, 1982).



Gambar 2.2 Skema reaksi antara partikel koloid dan polielektrolit (O'Melia, 1968)

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2, reaksi 1 bertujuan agar polimer menjadi terikat pada partikel koloid. Bagian rantai adsorpsi polimer yang lebih panjang kemudian mengikat partikel lainnya sehingga membentuk jembatan kimia seperti terlihat pada reaksi 2. Reaksi ini mengakibatkan pembentukan flok yang mendorong adanya pengendapan. Namun jika perpanjangan rantai polimer ini gagal untuk mengikat partikel yang lain, maka akan mengikat balik permukaan partikel yang pertama, sehingga terjadi restabilisasi partikel pada reaksi 3. Hal ini terjadi karena penambahan jumlah dosis yang berlebihan dan intensitas pengadukan yang berkepanjangan. Jika polimer ditambahkan berlebihan, maka ruas-ruas memenuhi partikel koloid dan tidak membentuk jembatan, seperti terlihat pada reaksi 4. Pengadukan yang terlalu lama dan intens juga akan menghancurkan jembatan seperti reaksi 5 dan 6.

2.2 Proses Koagulasi

Upaya penggabungan partikel koloid dilakukan dalam dua langkah yaitu: (i) mengurangi gaya tolak (destabilisasi partikel) yang terjadi pada proses koagulasi, dan dengan (ii) mengadakan kontak antar partikel yang telah destabil tadi (transport partikel) yang terjadi ada proses flokulasi. Koagulasi adalah proses penambahan koagulan pada pengadukan cepat, yang menghasilkan destabilisasi koloid agar terjadi agregasi dari partikel terdestabilisasi. Benefield (1982) menyatakan bahwa dengan bantuan penambahan bahan kimia, gaya stabilisasi pada koloid dapat dihancurkan sehingga partikel koloid dapat menggumpal. Butiran koloid ini makin lama akan membesar dan lebih berat sehingga dapat diendapkan secara gravitasi. Proses inilah yang disebut koagulasi kimia.

Proses destabilisasi dan awal pembentukan flok terjadi selama proses pengadukan cepat ini. (Benefield,1982). Guna menjamin terjadinya dispersi koagulan dalam waktu yang singkat, maka proses koagulasi dilakukan dalam unit pengadukan cepat (*flash mixing*). Setelah bahan kimia dicampurkan atau dimasukkan ke dalam unit ini, maka diharapkan pencampuran bahan kimia tersebut (koagulan) dapat terjadi secara cepat dan merata. Pengadukan cepat perlu dilakukan untuk mencampur bahan kimia dengan air pada kondisi aliran turbulen tinggi sehingga didapatkan suatu campuran yang homogen.

Beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya flok pada proses koagulasi adalah konsentrasi koloid, pH, gradien kecepatan, waktu pengadukan, suhu, dan alkalinitas. Di dalam proses koagulasi, hubungan antara pH, dosis koagulan dan konsentrasi koloid menentukan apakah mekanisme yang berlangsung adalah adsorpsi atau *sweep floc coagulation*. Pada dasarnya dua mekanisme tersebut tergantung pada konsentrasi koloid atau lebih spesifiknya tergantung pada luas permukaan koloid dan jumlah koagulan yang ditambahkan (Stumm and O'Melia 1982).

Berdasarkan penelitian *Camp* (Reynolds, 1982), derajat pengadukan mengacu pada tenaga yang masuk ke air dan dinyatakan dalam gradien kecepatan (*velocity gradient*). Tingkat tabrakan partikel sebanding dengan gradien kecepatan, sehingga nilai gradien harus cukup untuk mendapatkan tingkat tabrakan partikel yang diinginkan. Gradien kecepatan juga berkaitan dengan gaya *shear* pada air. Gradien kecepatan yang besar menghasilkan gaya *shear* yang cukup besar, sehingga bila gradien kecepatan terlalu besar akan menyebabkan gaya *shear* yang berlebihan dan menghambat pembentukan flok yang diinginkan.

Berdasarkan pada analisa teoritis ini dapat direkomendasikan penggunaan alat pengaduk cepat berintensitas tinggi, dengan perkiraan gradien kecepatan (G) sekitar 3000 – 5000 detik⁻¹ dan waktu kontak (t) 0,5 – 1 detik. Juga dilaporkan bahwa penggunaan blender intensitas tinggi (G = 16.000 detik⁻¹, t = 1 detik) lebih baik dibandingkan pengadukan dengan nilai G antara 300 – 1000 detik⁻¹. (AWWA (1989), Amirtharajah (1982)). Reynolds (1982), menyatakan bahwa lamanya waktu kontak pada pengadukan cepat adalah 2 – 5 menit atau 120 -150 detik, dengan putaran mekanik berkisar 100 – 150 rpm.

Di samping nilai gradien kecepatan dan waktu pengadukan yang diperlukan, maka perlu dipertimbangkan pula hasil kali G.t (non dimensional) dalam proses koagulasi dan flokulasi. Fair dan Geyer memberikan kriteria hasil kali G.t sekitar 10⁴ – 10⁵ (Fair, 1968).

2.3 Koagulan

Koagulan adalah bahan (senyawa) kimia yang digunakan untuk menggumpalkan partikel koloid. Berbagai macam bahan kimia sebagai koagulan yang efektif pada proses koagulasi adalah bahan kimia sebagai donor kation dengan valensi tinggi. Adapun koagulasi kimia digunakan untuk:

1. Menghilangkan *suspended solid* (SS) dan koloid solid yang tidak dapat dipisahkan melalui proses sedimentasi atau flotasi.
2. Menghilangkan atau mengurangi bahan-bahan organik yang terlarut di dalam air sehingga akan membantu mereduksi nilai COD dan BOD.

3. Menghilangkan fosfor, bahan-bahan beracun dan berwarna.
4. Menghilangkan kandungan-kandungan logam.

Bahan kimia yang sering digunakan sebagai koagulan adalah senyawa aluminum (kation Al^{3+}). Aluminum dapat melapisi koloid dengan Al^{3+} , dan membentuk mikroflor yang bermuatan positif. Koagulan aid seperti silica aktif atau polielektrolit diperlukan untuk menambah kekuatan flok sehingga meningkatkan kontrol potensial zeta.

2.3.1 Aluminum Sulfat

Aluminum sulfat dengan rumus kimia $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$] atau sering disebut sebagai alum, merupakan koagulan yang digunakan secara luas dalam proses pengolahan air minum. Koagulan aluminum sulfat lebih banyak digunakan dibandingkan dengan koagulan lainnya karena mudah mendapatkannya, murah dan efektif pada partikel air. Alum dapat diperoleh dalam bentuk kering atau cairan. Dalam bentuk kering alum bisa berupa gumpalan, butiran atau serbuk. Alum dalam bentuk butiran lebih sering digunakan, dengan karakteristik 15 – 22% Al_2O_3 , mengandung sekitar 14 kristalisasi air dan beratnya 60 – 63 lb/ft³ (Reynolds, 1982).

Senyawa aluminum memiliki valensi tinggi, Al^{3+} , dan bereaksi membentuk koloid hidroksida yang tidak larut dengan muatan positif. Muatan positif (kation) mendestabilkan koloid bermuatan negatif. Di dalam air, alum akan mengalami proses disosiasi, hidrolisa dan polimerisasi. (Stumm dan O'Melia, 1968).

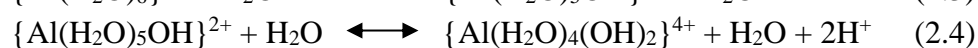
1. Reaksi disosiasi



2. Reaksi hidrolisa



3. Reaksi polimerisasi ion kompleks



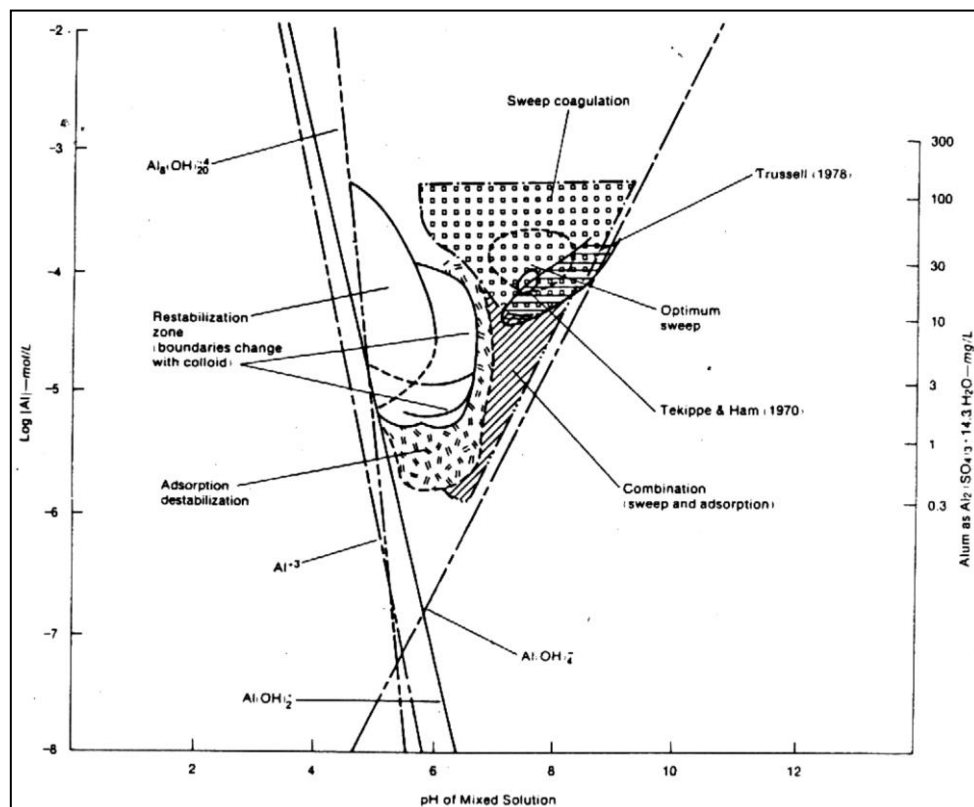
Proses koagulasi yang terjadi merupakan interaksi antara partikel koloid dengan produk hidrolisa aluminum yang terbentuk dengan sangat cepat segera setelah pembubuhan alum dalam unit pengadukan cepat. Ion Al^{3+} berperan sebagai elektrolit positif pada destabilisasi partikel koloid, dan senyawa $Al(OH)_3$ dalam bentuk presipitat berfungsi sebagai inti flok, sedangkan ion kompleks $\{Al(H_2O)_4(OH)_2\}^{4+}$ berfungsi sebagai jembatan antar partikel. Flok aluminum hidroksida yang terbentuk, bersifat gelatin dan akan mengadsorpsi partikel koloid (Stumm dan O'Melia, 1968).

Di dalam proses koagulasi hubungan antara pH, dosis koagulan dan konsentrasi koloid menentukan apakah mekanisme yang berlangsung adalah adsorpsi atau *sweep floc coagulation*. Pada dasarnya dua mekanisme tersebut tergantung pada konsentrasi koloid atau lebih spesifiknya tergantung pada luas permukaan koloid dan jumlah koagulan yang ditambahkan (Stumm and O'Melia 1982). Lebih lanjut, mekanisme proses koagulasi ditentukan oleh spesies aluminum yang terbentuk pada kondisi spesifik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3 yang merupakan hasil penelitian Amirtharajah dan Mills (1982). Gambar tersebut

menunjukkan keseimbangan kelarutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan mekanisme yang terjadi dalam proses koagulasi. Monomer dan polimer aluminum hadir pada kondisi pH yang rendah, dan keberadaan spesies ini akan menurun drastis pada pH 4,5. Presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ hadir dominan pada rentang pH 4,5 – 8,0. Pada pH < 4,5 dan pH > 8,0 sebagian besar aluminum hadir sebagai spesies terlarut, yaitu hadir dalam bentuk $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ pada pH < 4,5 dan dalam bentuk $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ pada pH > 8,0.

Mempertimbangkan kelarutan aluminum tersebut, maka operasional unit pengadukan cepat secara teoritis didesain berdasarkan pada mekanisme dominan yang terjadi pada penggunaan koagulan garam aluminum, yaitu:

1. Mekanisme adsorpsi dan netralisasi muatan, dimana spesies hidrolisa terlarut diadsorpsi ke permukaan partikel yang menyebabkan terjadinya netralisasi muatan dan destabilisasi. Pada dispersi koloid yang didestabilisasi melalui proses netralisasi muatan, tumbukan antara partikel koloid dengan spesies produk hidrolisis alum yang bermuatan positif harus terjadi sebelum seluruh reaksi hidrolisa ini selesai dan presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ terbentuk. Monomer aluminum terbentuk dalam waktu yang sangat cepat, dalam perseribu detik, sedangkan produk polimer kecil terbentuk dalam waktu sekitar 1 detik.



Gambar 2.3 Kelarutan aluminum dan diagram operasional koagulasi alum.
(Amirtharajah dan Mills, 1982)

2. Mekanisme penjebaran dalam presipitat (*sweep coagulation*), dimana terjadi interaksi antara koloid dan presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$. Kondisi kimiawi untuk terjadinya presipitasi secara cepat menjadi lebih signifikan dibandingkan dengan interaksi transport antara partikel koloid dan produk hidrolisa aluminium selama destabilisasi. Konsentrasi metal diatur menjadi 3 sampai 4 kali di atas nilai kelarutannya agar presipitat hidroksida terbentuk secara cepat, antara 1 – 7 detik.

Dari Gambar 2.3 tersebut dapat dilihat bahwa rentang pH antara 5,5 – 8,0 efektif untuk mekanisme *sweep floc coagulation*, dengan presipitat aluminium hidroksida yang digunakan dalam pengolahan air antara 10 – 100 mg/l. Hal ini sesuai dengan Eckenfelder (1989) bahwa kisaran pH yang efektif untuk koagulasi alum pada pH 5,5 – 8,0. Sedangkan menurut AWWA (1971) dalam Schulz dan Okun (1984) alum sebagai koagulan efektif pada pH 6,0 – 8,0.

Reaksi sebelum proses koagulasi oleh adsorpsi-destabilisasi terjadi sangat cepat dalam mikro detik tanpa pembentukan polimer aluminium atau dalam 1 detik jika polimer terbentuk. Secara teoritis intensitas pengadukan sangat berperan pada pH rendah (4 - 5) mengingat spesies yang hadir secara dominan pada pH ini adalah monomer dan polimer aluminium. Spesies ini akan terbentuk dalam waktu yang sangat cepat, sehingga dibutuhkan intensitas pengadukan yang tinggi agar spesies ini dapat terdispersi dalam larutan dan kontak dengan partikel koloid pada waktu yang sangat singkat. Agar netralisasi muatan dapat berlangsung secara efektif, alum harus secepat mungkin terdispersi dalam air (kurang dari 0,1 detik) agar produk hidrolisa yang terbentuk dalam waktu 0,01 – 1 detik dapat teradsorpsi dan selanjutnya mendestabilisasi partikel koloid.

Sementara pembentukan presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ berlangsung lebih lambat dalam rentang 1 – 7 detik, sehingga waktu yang dibutuhkan jika menggunakan untuk mendispersikan presipitat ini dalam proses *sweep* – koagulasi antara 1 – 7 detik.

2.3.2 Polialuminium Klorida

Saat ini, bentuk terpolimerisasi dari spesies aluminium banyak digunakan sebagai koagulan di pengolahan air. Spesies aluminium terhidrolisa sebagian dibentuk sebelum koagulan dibubuhkan ke dalam air. Kondisi yang disukai dapat diciptakan untuk pembentukan polimer hidrolisa aluminium 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 aluminium.

Umumnya bentuk yang digunakan adalah polialuminium klorida (PAC), yang diproduksi melalui hidrolisa partial aluminium klorida pada kondisi tertentu. PAC mengandung polimer aluminium kationik yang stabil. Oleh karena itu, tidak seperti produk hidrolisa aluminium dari koagulan alum yang terbentuk *in situ* (setelah pembubuhan alum ke dalam air), produk hidrolisa aluminium parsial sudah terkandung di dalam PAC dan siap digunakan untuk koagulasi. Karena diperlukan kondisi khusus untuk pembentukan Al_{13} , maka sangat besar kemungkinannya bahwa spesies ini bukanlah merupakan spesies aluminium utama yang terbentuk pada saat alum dibubuhkan *in situ* ke dalam air, kecuali jika spesies ini dibuat terlebih

dahulu (Dempsey et al, 1984). Selain itu juga ditemukan adanya spesies aluminum yang berbeda antara PAC dan produk hidrolisa alum *in situ* (Benschoten et al, 1990).

PAC merupakan koagulan non konvensional. Proses pembuatan koagulan ini telah dipatenkan, dengan pembuatan secara umum sebagai berikut: aluminum sebagai Al_2O_3 bereaksi dengan HCl pada suhu tinggi membentuk $AlCl_3$ yang selanjutnya dihidrolisa sebagian dengan menggunakan basa pada suhu tinggi dan bertekanan untuk membentuk polimer Al. Umumnya basa yang ditambahkan dalam bentuk senyawa bikarbonat yaitu $NaHCO_3$, Na_2CO_3 , $Ca(OH)_2$, NaOH, atau $CaCO_3$. Selanjutnya, dalam larutan polimerik ini dapat ditambahkan alum yang akan menurunkan konsentrasi Al_2O_3 menjadi 10-11% Al_2O_3 dan menambah kandungan sulfat di larutan. Komposisi larutan PAC sangat tergantung pada konsentrasi larutan stok $AlCl_3$, derajat netralisasi, tipe basa, teknik pencampuran, kehadiran sulfat, suhu, tekanan, dan usia larutan. Kehadiran $Al_{13}O_4(OH)_{24}^{7+}$, spesies dengan berat molekul moderat dan mengandung muatan yang tinggi, diindikasikan merupakan spesies polimerik yang berada di larutan PAC.

Karena produk hidrolisa dari PAC telah terbentuk sebelumnya, maka PAC menjadi kurang sensitif dibandingkan dengan alum, dimana pembentukan produk hidrolisa aluminum dari alum sangat tergantung pada kondisi proses, misalnya pH. Menurut Kojima dan Watanada, di Jepang PAC sudah terbukti efektif dalam mengolah air yang dingin, lunak, dan keruh. (Dempsey dkk, 1985). Dempsey dkk (1985) juga menemukan bahwa PAC lebih efektif dibandingkan alum pada pH yang tinggi atau rendah, namun keefektifan PAC terhadap alum akan berkurang jika konsentrasi kontaminan khususnya material organik meningkat.

Hundt dan O'Melia (1988) melakukan pemisahan spesies PAC dan menemukan bahwa polimer berukuran sedang merupakan spesies yang dominan pada rentang pH 5,0 – 6,6. Van Benschoten dan Edzwald (1990) menyatakan bahwa spesies polimer PAC stabil pada pH di bawah 6 dan siap digunakan untuk proses koagulasi. Spesies polimer ini tidak sensitif terhadap perubahan pH sehingga proses koagulasi dapat terjadi pada rentang pH yang lebar dan dengan dosis yang relatif sama. Kehadiran polimer berukuran sedang dalam PAC memperkuat sinopsis bahwa mekanisme koagulasi yang terjadi adalah mekanisme netralisasi muatan dan *interparticle bridging* (ikatan rantai polimer antar partikel).

BAB III METODE

3.1 Lokasi

Pengamatan unit koagulasi dilakukan pada 11 (sebelas) Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) di Provinsi Banten dan Jawa Barat yang menggunakan air permukaan sebagai sumber air bakunya dan menggunakan koagulan alum atau PAC. Lokasi IPA pengamatan terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Lokasi pengamatan kinerja unit koagulasi

No	Nama IPA	Lokasi
1	Sukamaju	Regional Metro, Kabupaten Bandung
2	Cipageran	Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung
3	Duren Seribu 1	Kota Depok
4	Bojong Renged	Kecamatan Teluk Naga, Kabupaten Tangerang
5	Solear	Kecamatan Solear Kab. Tangerang,
6	Poncol	Kota Bekasi
7	Cikembar	Kecamatan Parung Kuda, Kabupaten Sukabumi
8	Sindang Pasekan	Kabupaten Indramayu
9	Moya	Kota Tangerang
10	Sampora I	Bumi Serpong Damai, Kota Tangerang Selatan
11	Teluk Buyung 3	Kota Bekasi

3.2 Data dan Sumber Data

Data yang digunakan adalah:

1. Volume air yang disadap IPA, diperoleh dari pencatatan volume air baku yang diolah IPA dalam 1 tahun.
2. Jenis dan banyaknya (berat) koagulan yang digunakan di IPA, diperoleh dari pencatatan penggunaan koagulan di bagian produksi selama 1 tahun.
3. Tipe unit koagulasi serta dimensinya. diperoleh dari *as built drawing* serta pengukuran lapangan.

3.3 Analisa Data

Beberapa rumus yang digunakan dalam evaluasi kinerja unit koagulasi adalah sebagai berikut:

1. Gradien kecepatan, G:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \times Vol}} \quad (3.1)$$

2. Daya, P:

- Hidrolis $P = \rho \times g \times Q \times H$ (3.2)

- Mekanis $P = K_T \times n^3 \times Di^5 \times \rho$ (3.3)

3. Waktu detensi, td:

$$td = \frac{Vol}{Q} \quad (3.4)$$

dimana:

- G = Gradien kecepatan (detik⁻¹)
- Vol = Volume (m³)
- Q = Debit (m³/detik)
- P = Daya yang diberikan ke air (Nm/s atau Watt)
- K_T = Konstanta impeller
- n = kecepatan putar (rps)
- Di = Diameter impeller (m)
- ρ = Massa jenis air (kg/m³)
- td = Waktu detensi (detik)

Konstanta berbagai jenis *impeller* (K_T) untuk bak dengan 4 buah *baffle* vertikal dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Konstanta *Impeller*

Jenis <i>Impeller</i>	K _T
<i>Propeller, pitch of 1, 3 blades</i>	0,32
<i>Propeller, pitch of 2, 3 blades</i>	1
<i>Turbine, 4 flat blades, vaned disc</i>	5,31
<i>Turbine, 6 flat blades, vaned disc</i>	5,75
<i>Turbine, 6 curved blades</i>	4,8
<i>Fan Turbine, 6 blades 45°</i>	1,65
<i>Shrouded turbine, 6 curved blades</i>	1,08
<i>Shrouded turbine, with stator, no baffles</i>	1,12
<i>Flat paddles, 2 blades (single paddle), Di/W = 4</i>	2,25
<i>Flat paddles, 2 blades Di/W = 6</i>	1,7
<i>Flat paddles, 2 blades Di/W = 8</i>	1,15
<i>Flat paddles, 4 blades Di/W = 6</i>	2,85
<i>Flat paddles, 6 blades Di/W = 6</i>	3,82

Sumber: Reynolds dan Richards, 1982

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penerapan Koagulasi pada Instalasi Pengolahan Air Minum

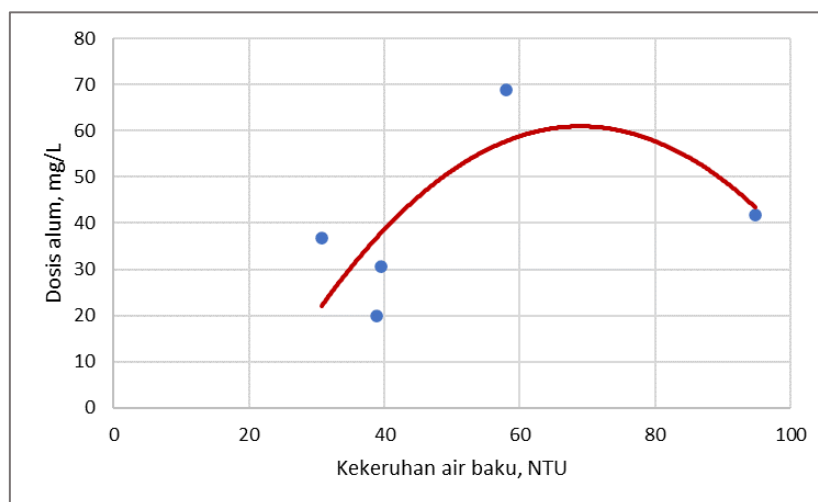
Hidrolisa aluminium merupakan spesies yang digunakan secara luas pada pengolahan air minum di Indonesia. Dengan menggunakan koagulan berbasis aluminium, air baku dengan perbedaan karakteristik kimiawi dan biologi berhasil diolah dengan baik. Tabel 4.1 memberikan hasil evaluasi terhadap operasional unit koagulasi pada beberapa IPA di Provinsi Banten dan Provinsi Jawa Barat yang menggunakan koagulan baik alum maupun PAC, yaitu:

1. 2 IPA di Provinsi Banten dan 3 IPA di Provinsi Jawa Barat yang menggunakan alum sebagai koagulan dalam pengolahan airnya, dengan kekeruhan air baku berkisar antara 30 NTU hingga 95 NTU dan rentang dosis alum 20 – 69 mg/L.
2. 2 IPA di Provinsi Banten dan 4 IPA di Provinsi Jawa Barat yang menggunakan PAC sebagai koagulan, dengan kekeruhan air baku berkisar antara 20 NTU hingga 224 NTU dan rentang dosis PAC 10 – 61 mg/L.

Memperhatikan bahwa model teoritis proses koagulasi mengarah pada usaha untuk mengkombinasikan antara aspek fisik pengadukan dengan mekanisme dari destabilisasi koloid (AWWA, 1989), maka dilakukan evaluasi unit koagulasi di tiap IPA guna memahami aspek fisik pengadukan yang terjadi. Evaluasi dilakukan berdasarkan hasil observasi lapangan mengenai tipe unit koagulasi, dimensi unit, serta debit pengolahan, untuk mengetahui lamanya waktu pengadukan (t_d), gradien hidrolis yang dihasilkan (G), serta hasil kali $G \cdot t_d$ yang dihasilkan di unit pengadukan cepat ini.

4.2 Operasional Unit Koagulasi Alum

Berdasarkan hasil evaluasi pada Tabel 4.1 untuk operasional unit koagulasi yang menggunakan alum sebagai koagulan, dapat dilihat hubungan antara kekeruhan air baku (NTU) terhadap dosis alum yang dibutuhkan pada Gambar 4.1. Terlihat bahwa pada 4 IPA dengan kekeruhan air baku antara 30 – 58 NTU terjadi peningkatan dosis alum seiring peningkatan kekeruhan air



Gambar 4.1 Dosis alum terhadap kekeruhan air baku pada operasional beberapa unit koagulasi alum

Tabel 4.1 Hasil evaluasi kinerja unit koagulasi pada beberapa instalasi pengolahan air minum di Banten dan Jawa Barat

Lokasi	IPA	Sumber air baku	Keke- ruhan rerata NTU	Debit IPA L/dtk	Jenis koagulan	Dosis koagulan mg/L	G detik ⁻¹	Waktu detensi detik	G x td	Sumber data
Regional Metro, Kab. Bandung	Sukamaju	S. Cisangkuy	30,76	160	alum	36,68	1.374	11,25	15.458	Romadhon L., 2014
Kec. Soreang, Kab. Bandung	Cipageran	S. Cisondari	38,93	169	alum	20	745,48	9,05	6.747	Sani I.K., 2020
Kota Depok	Duren Seribu 1	S. Angke	39,45	50	alum	30,68	1.945,07	20,10	39.088	Sheryline, 2022
Kab. Tangerang	Bojong Renged	S. Cisadane	58,03	50	alum	68,88	712,99	9	6.417	Adriany R., 2019
Kecamatan Solear, Kab. Tangerang.	Solear	S. Cidurian	94,74	100	alum	41,8	168,55	205,63	34.659	Ramadhan F., 2020
Kota Bekasi	Poncol	Saluran Tarum Barat	20,3	100	PAC	32,79	592,34	28	16.585	Ananto M.R., 2022
Kec. Parung Kuda, Kab. Sukabumi	Cikembar	S. Citatih	28,40	58	PAC	61,02	1.326,18	2,34	3.103	Syacavati A.P., 2017
Kab. Indramayu	Sindang Pasekan	S. Cimanuk	39,1	65	PAC	25	789,3	5,4	4.262	Arief I., 2020
Tangerang	Moya	S. Cisadane	128,83	550	PAC	10,62	184,6	12,56	2.319	Rahmadilla A., 2017
Bumi Serpong Damai, Tangerang Selatan	Sampora I	S. Cisadane	162	200	PAC	29,76	494	23,29	5.736	Putri A.A., 2017
Kota Bekasi	Teluk Buyung 3	Saluran Sekunder Bekasi Pangkal	224	200	PAC	52,2	636	30	19.080	William, 2020

baku. Hal ini konsisten dengan mekanisme koagulasi adsorpsi presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ bahwa destabilisasi dengan mekanisme adsorpsi ini adalah stoikiometrik; yaitu dosis alum akan meningkat jika konsentrasi koloid (permukaan partikel koloid) meningkat, atau dosis alum tergantung dari konsentrasi koloid. Peningkatan dosis alum akan meningkatkan pembentukan presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ bermuatan positif, dimana selanjutnya presipitat ini akan teradsorpsi ke permukaan partikel koloid bermuatan negatif. Hal ini akan menyebabkan perubahan karakteristik permukaan partikel koloid dan pada akhirnya memperkecil gaya tolak sehingga memicu terjadinya koagulasi. (Dentell dan Gosset, 1988).

Penelitian McCooke dan West (1978) mengenai koagulasi pada suspensi kaolin dengan aluminum sulfat, menemukan bahwa ion Al^{3+} pada kondisi di bawah pH 6 akan membentuk $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, pada kondisi di atas pH 8 akan membentuk $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, dan pada kondisi pH 6 - 8 membentuk aluminum hidroksida yang merupakan spesies bermuatan positif. Spesies bermuatan positif ini dapat mendestabilisasi koloid yang bermuatan negatif melalui adsorpsi. Dentell dan Gosset (1988) melaporkan bahwa netralisasi muatan pada koloid akan berlangsung setelah kelarutan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dilampaui, sehingga terjadi netralisasi muatan karena menempelnya presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ pada permukaan partikel koloid yang selanjutnya dapat mengakibatkan perubahan karakteristik permukaan dan menyebabkan terjadinya destabilisasi koloid sehingga partikel dapat saling kontak dan menggumpal. Demikian juga Hundt (1988) dan Van Benschoten (1990) melaporkan bahwa pembentukan presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ mulai terjadi pada pH sekitar 4,5 yang akan meningkat pesat sejalan kenaikan pH, dimana presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ ini merupakan spesies yang paling dominan.

Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1 dapat dilihat juga bahwa pada kekeruhan air baku > 70 NTU mulai terjadi kecenderungan penurunan dosis alum yang digunakan, dalam hal ini merupakan kondisi operasional di IPA Solear dengan kekeruhan air baku 94,74 NTU dan dosis alum 41,8 mg/L. Konsentrasi koloid yang tinggi berkorelasi dengan jumlah partikel koloid yang tinggi di larutan, dan partikel koloid tersebut berlaku sebagai inti untuk pembentukan presipitat sehingga dapat menurunkan dosis alum (Stumm and O'Melia 1968). Koagulasi yang terjadi pada larutan dengan konsentrasi koloid yang tinggi adalah sesuai dengan mekanisme *sweep floc coagulation*. Sehingga hal ini menjelaskan penggunaan dosis alum yang rendah di IPA Solear dibandingkan dengan 4 IPA lainnya.

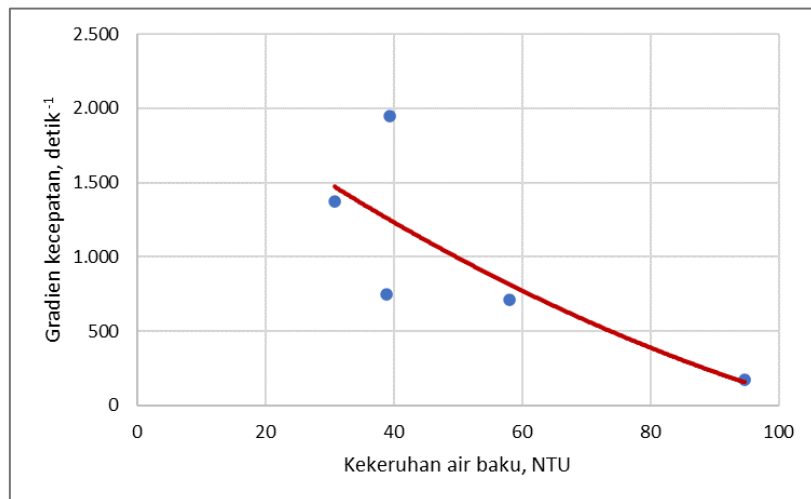
Lebih lanjut pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa pada 5 IPA tersebut terjadi penurunan intensitas atau gradien kecepatan pengadukan sejalan dengan adanya peningkatan kekeruhan air baku. Konsentrasi partikel koloid yang tinggi dapat meningkatkan frekuensi tumbukan dari partikel yang telah terdestabilisasi, sehingga penggunaan gradien kecepatan yang tinggi dapat memecahkan ikatan flok yang terbentuk. Hal ini juga mengindikasikan bahwa pada IPA Solear kemungkinan besar mekanisme koagulasi alum yang terjadi adalah mekanisme *sweep floc coagulation*.

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa intensitas pengadukan atau gradien kecepatan pengadukan (G) cenderung berkurang seiring dengan peningkatan dosis alum. Hal ini konsisten dengan sinopsis di atas bahwa presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang terbentuk dan bekerja dalam proses koagulasi di 5 IPA tersebut, baik pada mekanisme adsorpsi dan netralisasi muatan maupun

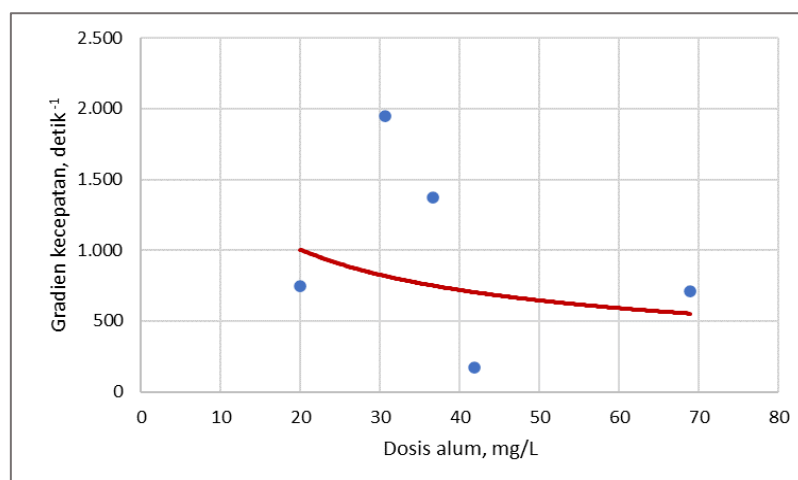
mekanisme *sweep floc coagulation*. Karena spesies yang dominan terbentuk dan bekerja adalah presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan bukan monomer atau polimer aluminum, maka intensitas pengadukan yang dibutuhkan untuk pembentukan dan penyebaran presipitat $\text{Al}(\text{OH})_3$ menjadi tidak terlalu kritis. Tidak diperlukan pengadukan dengan intensitas yang tinggi.

Dapat dilihat juga bahwa terdapat 2 IPA yang menerapkan gradien kecepatan > 1000 detik⁻¹, yaitu IPA Sukamaju dengan G 1.374 detik⁻¹ dan IPA Duren Seribu 1 dengan G 1.945 detik⁻¹. Pembentukan spesies aluminum dipengaruhi oleh konsentrasi aluminum, pengadukan, tipe dan konsentrasi anion (pH). Oleh karenanya, perlu dipelajari lebih lanjut kondisi di instalasi tersebut, misalnya:

- Faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses koagulasi misalnya kehadiran kontaminan organik
- pH operasi di unit koagulasi, sehingga operator dapat mengatur kecepatan pengadukan sesuai dengan spesies aluminum yang bekerja serta sesuai dengan mekanisme koagulasi yang direncanakan.



Gambar 4.2 Gradien kecepatan (G) terhadap kekeruhan air baku pada operasional beberapa unit koagulasi alum

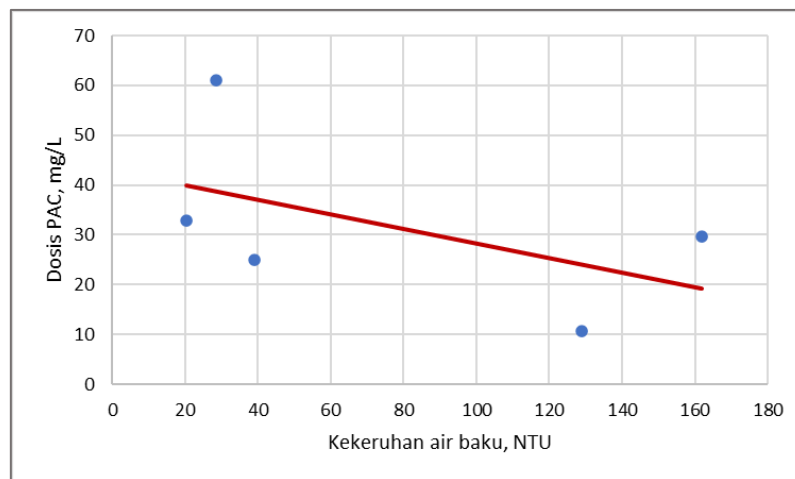


Gambar 4.3 Gradien kecepatan (G) terhadap dosis alum pada operasional beberapa unit koagulasi alum

4.3 Operasional Unit Koagulasi PAC

Berdasarkan evaluasi pada Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa koagulan PAC telah digunakan secara luas oleh operator. Data diperoleh dari 6 IPA yang menggunakan PAC untuk mengolah air permukaan dengan rentang kekeruhan air baku yang lebar, yaitu antara 20 NTU hingga 224 NTU.

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara kekeruhan air baku terhadap dosis PAC yang dibubuhkan. Dibandingkan dengan Gambar 4.1 yang menunjukkan peningkatan dosis alum seiring peningkatan kekeruhan air baku yang terjadi pada kondisi kekeruhan rendah hingga sedang, pada Gambar 4.4 menunjukkan penggunaan koagulan PAC kecenderungan menurunnya dosis PAC yang dibubuhkan sejalan dengan peningkatan kekeruhan air baku. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme koagulasi yang terjadi adalah mekanisme netralisasi muatan dan *interparticle bridging*.



Gambar 4.4 Dosis PAC terhadap kekeruhan air baku pada operasional beberapa unit koagulasi PAC

Pada kekeruhan rendah diperlukan dosis PAC yang lebih tinggi, karena dengan rendahnya konsentrasi partikel terdispersi di larutan maka kesempatan untuk terjadinya tumbukan antar partikel terdestabilisasi menjadi sangat kecil. Oleh karena itu dibutuhkan dosis PAC yang lebih tinggi pada kekeruhan rendah untuk mengisi larutan dengan partikel terdispersi agar kontak antar partikel dapat terjadi.

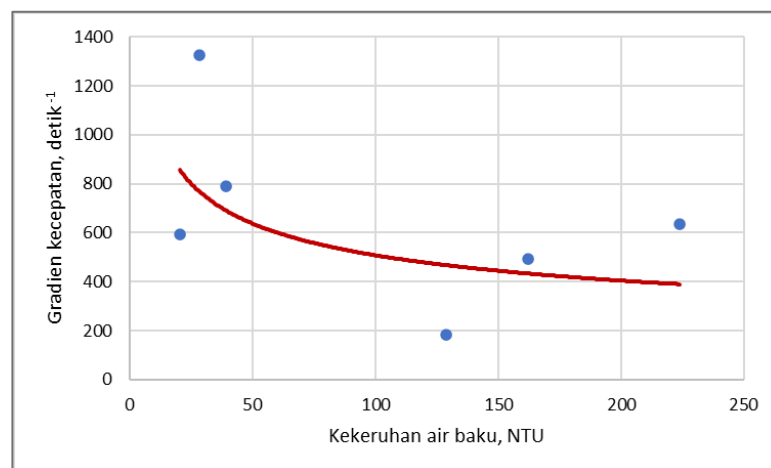
Dengan membandingkan Gambar 4.1 dan Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa PAC mampu untuk menggumpalkan partikel koloid pada dosis yang lebih rendah dibandingkan dosis alum. Hal ini konsisten dengan hasil penelitian Hundt dan O'Melia (1988) serta van Benschoten dan Edzwald (1990) yang menemukan bahwa pada pH 5 PAC berbentuk sebagai spesies polimer sehingga memungkinkan bekerjanya mekanisme *interparticle bridging*. Selain itu hasil penelitian Dempsey dkk (1984) menyatakan bahwa pada pH > 7 PAC mampu memberikan penurunan kekeruhan yang lebih baik dibandingkan alum. Hal ini dijelaskan dari studi Van Benschoten (1990) bahwa pada bentuk fase solid PAC (presipitat PAC) struktur polimeriknya tetap utuh, sehingga membantu dalam menjerat partikel koloid untuk menggumpal. Lebih

lanjut, presipitat yang terbentuk dari PAC memiliki muatan positif, dimana kehadiran partikel bermuatan positif merupakan faktor penting dalam koagulasi partikel koloid bermuatan negatif. Karena itu PAC dapat lebih efektif untuk melakukan kontak dengan partikel koloid daripada alum.

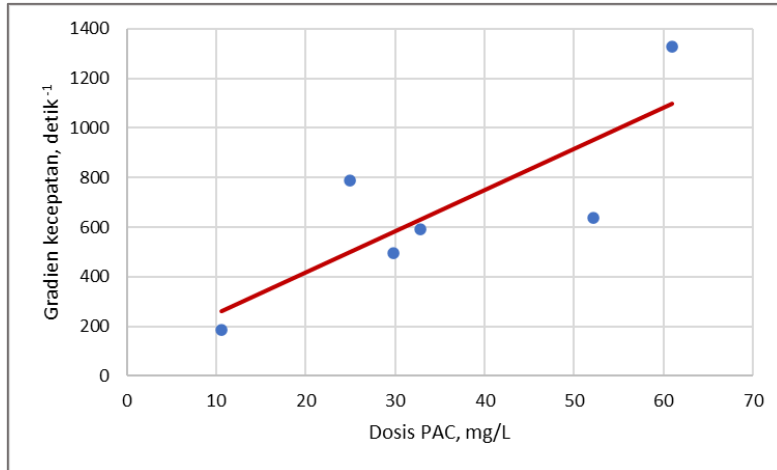
Pada Gambar 4.4 terlihat adanya 1 IPA dengan penyimpangan yang besar terhadap garis kecenderungannya, yaitu IPA Cikembar yang mengolah air baku dengan kekeruhan 28,40 NTU menggunakan dosis PAC 61,02 mg/L. Tingginya penggunaan dosis PAC di IPA Cikembar ini dapat disebabkan oleh berbagai macam faktor penyebab yang perlu dipelajari lebih lanjut, antara lain konsentrasi anion (pH), kehadiran kontaminan lainnya di air baku, sebagai berikut:

- Pada pH 7 keefektifan PAC terhadap alum berkurang, bahkan pada air dengan kekeruhan rendah memerlukan dosis aluminum terkandung di koagulan yang hampir sama antara PAC dan alum. Spesies dominan yang terbentuk pada pH 7 adalah $Al(OH)_3$ sehingga mekanisme yang bekerja adalah penjebakan dalam flok (*sweep floc coagulation*) sehingga dibutuhkan aluminum yang hampir sama (Winarni, 2003).
- Dempsey dkk (1985) menyimpulkan bahwa benefit PAC relatif terhadap alum berkurang dengan adanya peningkatan konsentrasi kontaminan organik.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa di 6 IPA pengamatan terdapat rerata kecenderungan gradien kecepatan (G) koagulasi PAC berada di bawah 1000 detik^{-1} , yang lebih rendah daripada gradien kecepatan pada koagulasi alum. Pada koagulasi PAC tidak diperlukan intensitas pengadukan tinggi karena produk hidrolisa aluminum parsial Al_{13} sudah terkandung di dalam PAC dan siap digunakan untuk koagulasi. Tidak diperlukan pembentukan polimer aluminum lagi setelah koagulan dibubuhkan ke dalam air. Terdapat penyimpangan yang tinggi terhadap garis rerata kecenderungan, yaitu pada IPA Cikembar sebagaimana dijelaskan di atas yang menggunakan nilai G 1.326 detik^{-1} dalam mendispersikan PAC.



Gambar 4.5 Gradien kecepatan (G) terhadap kekeruhan air baku pada operasional beberapa unit koagulasi PAC



Gambar 4.6 Gradien kecepatan (G) terhadap dosis PAC pada operasional beberapa unit koagulasi PAC

Pada Gambar 4.5 juga menunjukkan bahwa operator menggunakan intensitas pengadukan (gradien kecepatan) yang menurun sejalan dengan peningkatan konsentrasi kekeruhan air baku. Pengadukan yang kuat atau berkepanjangan dapat menstabilkan kembali partikel yang sudah dstabil karena putusya ikatan permukaan polimer dan terlipatnya kembali loop ke permukaan polimer.

Demikian juga dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6 bahwa pada gradien kecepatan rendah pada dosis PAC yang rendah (air baku kekeruhan tinggi). Gradien kecepatan meningkat seiring dengan peningkatan dosis PAC (air baku kekeruhan rendah). Terlihat bahwa Gambar 4.6 dapat meresumekan sinopsis dari hubungan yang tergambarakan pada Gambar 4.4 dan 4.5.

BAB V SIMPULAN

Pada IPA dengan kondisi air baku kekeruhan rendah hingga sedang, terjadi peningkatan dosis alum yang digunakan seiring dengan peningkatan kekeruhan air baku. Dosis alum akan berkurang pada kekeruhan tinggi karena tersedianya partikel koloid yang tinggi di larutan sebagai inti pembentukan presipitat.

Pada IPA dengan koagulan PAC ditemukan adanya kecenderungan penurunan dosis PAC yang digunakan sesuai peningkatan kekeruhan air baku.

Secara umum, IPA melakukan penurunan intensitas atau gradien kecepatan pengadukan sejalan dengan adanya peningkatan kekeruhan air baku, baik IPA yang menggunakan koagulan alum maupun menggunakan koagulan PAC. Penggunaan gradien kecepatan yang tinggi dapat memecahkan ikatan flok yang telah terbentuk.

Proses koagulasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik air baku selain kekeruhan, misalnya kehadiran kontaminan organik, serta tipe dan konsentrasi anion yang mempengaruhi pH air baku, sehingga membutuhkan dosis yang menyimpang dari kecenderungan umumnya.

Pada penggunaan koagulan alum, operator IPA dapat melakukan pemantauan pH operasional di unit koagulasi secara rutin sehingga dapat memprediksi spesies aluminum yang bekerja dan mengatur gradien kecepatan (kecepatan pengadukan) berdasarkan mekanisme yang sesuai. Kegagalan dalam pengadukan menyebabkan spesies yang terbentuk tidak dapat tersebar dan sehingga tidak dapat mendestabilisasi partikel koloid.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriany, R. (2019). Perencanaan Pengembangan Bangunan Pengolahan Air Minum (IPA) Bojong Renged, Kabupaten Tangerang. *Skripsi*. Universitas Trisakti.
- Amirtharajah, A., dan Mills, K.M. (1982). Rapid-mix Design for Mechanism of Alum Coagulation. *American Water Works Association Journal*, 74(4), 210-216.
- Ananto, M.R. (2022). Evaluasi Operasional Unit Intake, Prasedimentasi, Koagulasi, Flokulasi, dan Sedimentasi di IPA Poncol PDAM Tirta Bhagasasi. *Laporan Kerja Praktik Profesi*. Universitas Trisakti.
- Arief, I. (2020). Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum IPA Sindang Pasekan, Kabupaten Indramayu. *Skripsi*. Universitas Trisakti.
- American Water Works Association. (1989). Coagulation Committee. *Report*.
- Benefield, L.D., Judkins, J.F., Weand, B.L. (1982). Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment. Prentice-Hall Inc. New Jersey.
- Dempsey, B.A. dkk. (1985). Polyaluminum Chloride and Alum Coagulation of Clay-Fulvic Acid Suspensions. *American Water Works Association Journal*, 77(3), 74-80.
- Dentell, S.K., dan Gossett, J.M. (1988). Mechanism of Coagulation with Aluminum Salts. *American Water Works Association Journal*, 80(4), 187-198.
- Fair, G.M., Geyer, J.C., Okun, D.A. (1968) Water and Wastewater Engineering. Wiley. New York.
- Hundt, T.R., dan O'Melia, C.R. (1988). Aluminum-Fulvic Acid Interactions: Mechanisms and Applications. *American Water Works Association Journal*, 80(4), 176-186.
- McCooke, N.J., dan West, J.R. (1978). The Coagulation of Kaolinite Suspension with Aluminum Sulphate. *Water Research*. 12, 793-798.
- Putri, A.A. (2017). Perencanaan Pengembangan Instalasi Pengolahan Air Minum di Kawasan Bumi Serpong Damai, Tangerang Selatan. *Skripsi*. Universitas Trisakti.
- Rahmadilla, A. (2017). Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum di Zona 2 Kota Tangerang. *Skripsi*. Universitas Trisakti.
- Ramadhan. F. (2020). Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum IPA Solear, Kecamatan Solear, Kabupaten Tangerang. *Skripsi*. Universitas Trisakti.
- Reynolds. (1982). Unit Operation and Processes in Environmental Engineering. Brooks Engineering Division.
- Romadhon, L. (2014). Perencanaan Pengembangan Bangunan Pengolahan Air Minum di Regional Metro Bandung Selatan. *Skripsi*. Universitas Trisakti.
- Sani, I.K. (2019). Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum IPA Sadu di Kecamatan Soreang, Kabupaten Bandung. *Skripsi*. Universitas Trisakti.
- Stumm dan O'Melia. (1962). Chemical Aspect of Coagulation. *American Water Works Association Journal*, 54(8), 971-994.

- Stumm dan O'Melia. (1968). Stoichiometry of Coagulation. *American Water Works Association Journal*, 60(5), 514-539.
- Syacavati, A. P. (2017). Perencanaan Instalasi Pengolahan Air Minum di Kecamatan Parung Kuda, Kabupaten Sukabumi. *Skripsi*. Universitas Trisakti.
- Van Beschoten, J.E., dan Edzwald, J.K. (1990). Chemical Aspects of Coagulation Using Aluminum Salts – I. Hydrolitic Reactions of Alum and Polyaluminum Chloride. *Water Research*. 24, 1519-1526.
- Winarni. (2003). Koagulasi Menggunakan Alum dan PACl. *Makara*. 7(3), 89-95.