STUDI PEMANFAATAN *RECOVERY* ALUM SEBAGAI KOAGULAN UNTUK MENURUNKAN KEKERUHAN AIR BAKU

Rusdiana Setyaningtyas[*)]

ABSTRAK

Pada umumnya IPAM menggunakan tawas sebagai koagulan dan membuang lumpur hasil pengolahan airnya langsung ke sungai, sehingga menimbulkan pencemaran karena lumpur tersebut banyak mengandung alum. Recovery *alum dilakukan sebagai upaya untuk memanfaatkan kembali lumpur tersebut sebagai koagulan sehingga selain dapat mengurangi kandungan alum dalam lumpur yang dibuang, secara ekonomi juga mengurangi biaya pengolahan limbah yaitu dengan berkurangnya pemakaian tawas. Proses* recovery *dilakukan dengan cara asidifikasi yaitu dengan penambahan asam sulfat pada lumpur dan diikuti dengan koagulasi, flokulasi dan sedimentasi selama 30 menit, sehingga terjadi pemisahan antara solid dan filtrat. Bagian filtrat ini selanjutnya digunakan sebagai koagulan. Proses koagulasi, flokulasi dan sedimentasi dilakukan dengan kondisi batch. Koagulan yang dipakai adalah alum hasil* recovery *dengan koagulan pembandingnya koagulan aluminium sulfat. Variabel yang diamati adalah pH dan kekeruhan.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa alum dalam lumpur Clearator IPAM dapat ter-*recovery *sebesar (65,4 – 78)%, dan* recovery *alum cukup efektif digunakan sebagai koagulan pada proses koagulasi – flokulasi dengan kekeruhan rendah bila dibandingkan dengan alum, karena* recovery *alum masih mengandung koloid yang berfungsi sebagai penambah kekeruhan.*

Kata kunci: *recovery*, alum, kekeruhan, koagulasi-flokulasi, air baku

PENDAHULUAN

Air bersih telah menjadi kebutuhan pokok masyarakat saat ini sejalan dengan meningkatnya kepedulian masyarakat terhadap kebersihan dan kesehatan lingkungannya. Kebutuhan akan air bersih ini terus meningkat sesuai dengan makin meningkatnya jumlah penduduk dan ragam aktifitas masyarakat itu sendiri. Untuk itu diperlukan sumber air baku yang mencukupi baik secara kuantitas maupun kontinuitas. Sebagian air baku untuk penyediaan air bersih diambil dari air permukaan seperti sungai, danau dan sebagainya.

Salah satu langkah penting pengolahan untuk mendapatkan air bersih adalah menghilangkan kekeruhan dari air baku tersebut dengan jalan mengendapkan partikel-partikel koloid yang ada dalam air. Ukuran partikel koloid yang sangat kecil (10 nm – 10 µm) sangat sulit diendapkan secara alami dan membutuhkan waktu lama, sehingga diperlukan bantuan zat kimia (koagulan), yang dilanjutkan dengan proses pembentukan flok atau lebih dikenal sebagai proses *koagulasi* dan *flokulasi (Alaerts et.al., 1987)*. Koagulan yang umum digunakan untuk menurunkan kekeruhan dan warna adalah tawas atau alum.

Selama ini kebanyakan Instalasi Penjernihan Air Minum (IPAM) memakai alum sebagai koagulan karena harganya relatif murah dan mudah diperoleh. Permasalahan timbul karena masih terlihat pembuangan lumpur langsung ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu. Lumpur tersebut diantaranya merupakan flok-flok hasil dari proses koagulasi-flokulasi yang tentunya banyak mengandung alum. Zat senyawa alum ini akan menyebabkan gangguan terhadap kesehatan jika kontak dengan manusia. Kontak antara senyawa alum dengan manusia ini tidak melalui air yang dikonsumsi sebagai air minum, tetapi terakumulasi dalam tubuh biota air, menyebabkan terjadinya *bioakumulasi*. Kadarnya makin lama akan semakin tinggi dalam rantai makanan dari plankton sampai ke ikan, hingga akhirnya sampai pada tingkat beracun dan tentu akan sangat berbahaya jika biota tersebut dikonsumsi oleh manusia *(Soemarwoto, 2001)*. Selain itu, penumpukan lumpur di sungai dapat menimbulkan pendangkalan yang

berakibat rawan terjadi banjir di daerah sekitar sungai tersebut. Karena itu timbul keinginan untuk meminimisasi jumlah lumpur yang dibuang ke sungai dengan jalan me-*recovery* lumpur yang mengandung alum tersebut dengan *asidifikasi* (penambahan asam sulfat). Selanjutnya, alum hasil *recovery* ini diharapkan selain dapat dimanfaatkan kembali sebagai koagulan pada proses koagulasi-flokulasi, juga dapat mengurangi konsentrasi alum dalam lumpur. Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan gambaran mengenai kemungkinan kandungan alum dalam lumpur pada Bak Pengendap Kedua *(Clearator)* Instalasi Penjernihan Air Minum (IPAM).
2. Mengetahui prosentase penurunan konsentrasi alum pada lumpur setelah *recovery*.
3. Mengetahui efektifitas *recovery* alum sebagai koagulan untuk menurunkan kekeruhan air baku dibandingkan dengan koagulan Aluminium Sulfat (tawas).

Sedangkan ruang lingkup penelitian adalah:

1. Percobaan koagulasi-flokulasi dengan *batch* proses dan menggunakan air baku dengan kekeruhan buatan dari penambahan kaolin.
2. Lumpur yang akan di-*recovery* berasal dari Bak Pengendap Kedua *(Clearator)* Instalasi Penjernihan Air Minum (IPAM) Ngagel I Surabaya, dengan penelitian pendahuluan terhadap lumpur antara lain: SS dan konsentrasi Al.
3. Parameter yang digunakan adalah pH (kontrol pH optimum 1 – 3) dan kekeruhan, baik sebelum maupun sesudah proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi.

METODE PENELITIAN

1. Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan dengan pH meter yang meliputi pengukuran pH pada sampel lumpur setelah penambahan H_2SO_4, dan pada sampel air baku yang terdiri dari pengukuran pH awal dan pengukuran pH setelah proses.

2. Pengukuran Konsentrasi Aluminium

Pengukuran konsentrasi aluminium dilakukan dengan AAS yang meliputi pengukuran pada sampel lumpur awal (sebelum penambahan H_2SO_4) dan pada sampel setelah penambahan H_2SO_4. Aluminium sulfat atau yang lebih dikenal dengan sebutan tawas di pasaran dijual dalam bentuk bubuk/serbuk. Yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium sulfat teknis dengan rumus $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$. Untuk memperoleh konsentrasi aluminium sulfat 1000 ppm, maka perlu melarutkan bubuk aluminium sulfat ke dalam 1 liter air sebanyak:

$$= \frac{1000\,mg/lt \; x \; 666 \; x \; 1000\,ml \; x \; 1lt/1000\,ml}{54} = 12333{,}33 \text{ mg}$$

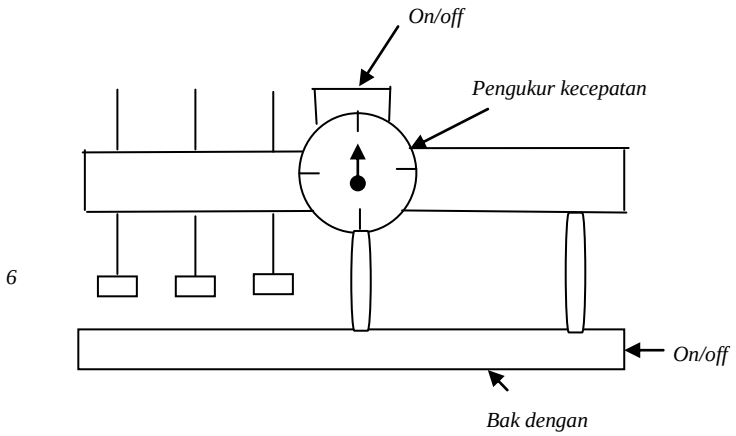
$$= \underline{12{,}33 \text{ gram}}$$

3. Pengukuran Kekeruhan

Pengukuran kekeruhan dilakukan dengan *Digital Direct Turbidimeter* (DDT), yang meliputi pengukuran kekeruhan pada air baku sebelum diberi kaolin (bahan untuk kekeruhan buatan), pengukuran kekeruhan pada air baku setelah diberi kaolin (sebelum proses koagulasi-flokulasi) dan pengukuran kekeruhan setelah proses koagulasi-flokulasi dan sedimentasi. Konsentrasi kekeruhan buatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 8,9 NTU dan 15,6 NTU.

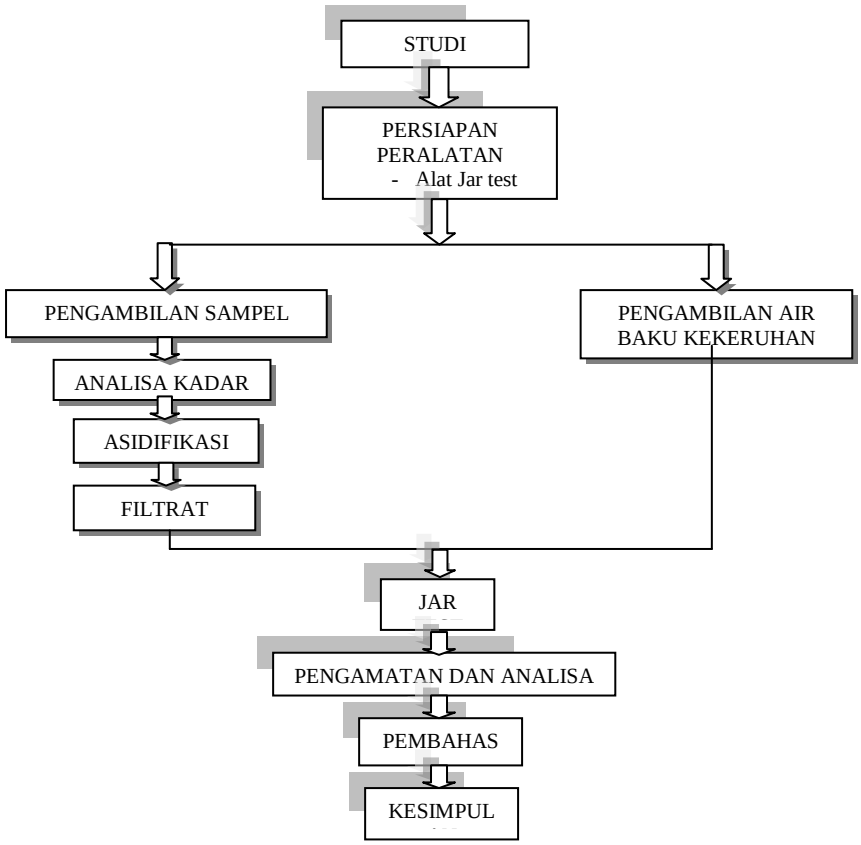
4. *Batch* Proses

Untuk menentukan dosis optimum koagulan menggunakan *Batch* proses dengan alat yang dipakai Jar test, yaitu jar test jenis Phips and Bird dengan 6 beker glass masing-masing 1 liter.
Pengadukan cepat menggunakan gradien kecepatan G = 100 rpm dengan lama pengadukan td = 1 menit. Sedang pengadukan lambat menggunakan G = 40 rpm dengan td = 15 menit. Adapun skema alat jar test dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1 Alat Jar tes untuk Koagulasi-Flokulasi (Phips dan Bird)

Kerangka kerja penelitian ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2 Kerangka kerja penelitian

ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Analisa Konsentrasi Lumpur (*Recovery* Alum)

Dalam penelitian ini dilakukan dua kali pengambilan lumpur. Pada pengambilan lumpur I, kekeruhan air baku 11,23 NTU dan dosis koagulan aluminium sulfat yang dibubuhkan sebesar 60 mg/lt dengan pH lumpur 5,4. Sedangkan pada pengambilan lumpur II, kekeruhan air baku 10,05 NTU dan dosis koagulan aluminium sulfat yang dibubuhkan sebesar 40 mg/lt dengan pH lumpur 5,8. Hasil perhitungan lumpur secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Lumpur I dan II

		Lumpur I	*Lumpur II*
$Al(OH)_3$ [mg/lt]		3798,917	2456,740
H_2SO_4 [mg/lt]	Percobaan	7840,000	6860,000
	Teori	7158,900	4630,059
$Al_2(SO_4)_3$ [mg/lt]	Percobaan	7828,630	4826,630
	Teori	10033,37	7838,064
Prosentase Al yang direcovery [%]		78,000	65,400
H_2SO_4 yang dibutuhkan untuk mendapatkan 1 mg/lt alum [mg/lt]		1,000	1,420
Biaya H_2SO_4 yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kg alum [Rp]	Percobaan	1.657,17	2.352,55
	Teori	1.423,00	1.423,00
Biaya 1 kg tawas murni [Rp]		1.800,00	1.800,00

Sumber: Data dan perhitungan

Dari Tabel 1 terlihat bahwa baik pada lumpur I maupun lumpur II untuk *recovery* diperlukan H_2SO_4 yang lebih besar dibanding dengan perhitungan secara teoritis. Hal ini kemungkinan disebabkan pada lumpur tersebut selain aluminium terdapat juga logam-logam lainnya seperti besi, seng dan chromium sehingga H_2SO_4 yang ada selain bereaksi dengan aluminium juga bereaksi dengan logam-logam tersebut. Akibatnya diperlukan H_2SO_4 yang lebih banyak.

Kadar alum pada lumpur I jauh lebih besar dibanding dengan kadar alum pada lumpur II. Hal ini disebabkan adanya perbedaan pada dosis aluminium sulfat yang dibubuhkan untuk proses koagulasi pada saat pengambilan lumpur I dengan lumpur II. Biaya asam sulfat yang dibutuhkan untuk mendapatkan 1 kg alum pada lumpur I lebih rendah bila dibandingkan dengan harga 1 kg tawas murni. Sedangkan biaya asam sulfat untuk mendapatkan 1 kg alum pada lumpur II lebih besar bila dibandingkan dengan harga 1 kg tawas murni. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya kandungan logam-logam selain alum pada lumpur II lebih besar dari pada lumpur I, dimana pada penelitian ini tidak dilakukan pemisahan alum terhadap logam lainnya sehingga asam sulfat yang dibutuhkan untuk *recovery* alum lebih banyak, karena itu untuk mendapatkan 1 mg/l alum pada lumpur II dibutuhkan asam sulfat yang lebih banyak sehingga diperlukan biaya yang lebih besar pula.

Walaupun pembuatan *recovery* alum tidak selamanya lebih ekonomis bila dibandingkan dengan biaya pembelian tawas murni, namun bila ditinjau dari segi dampak lingkungan maka recovery alum merupakan salah satu alternatif yang baik untuk mengurangi kadar alum pada lumpur yang dibuang ke sungai sehingga dapat mengurangi pencemaran lingkungan, khususnya sungai sebagai sumber air baku.

2. Penentuan Dosis Optimum Koagulan Untuk Me*removal* Kekeruhan Menggunakan Proses Batch

i. Koagulasi dengan Koagulan Aluminium Sulfat

Koagulasi untuk menentukan dosis optimum koagulan aluminium sulfat dilakukan pada kekeruhan awal 8,9 NTU dan 15,6 NTU dengan pH awal 7,00. Data hasil percobaan Jar test menggunakan koagulan aluminium sulfat dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Data Penentuan Dosis Optimum Aluminium Sulfat pada Kekeruhan Awal 8,9 NTU, Kekeruhan awal : 8,9 NTU, Ph : 7,00

No.	Dosis Alum (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Alum (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	5	6.8	2.69	69.78	7	11	6.7	2.10	76.40
2	6	6.8	2.61	70.67	8	12	6.6	2.01	77.42
3	7	6.8	2.53	71.57	**9**	**13**	**6.6**	**1.86**	**79.10**
4	8	6.7	2.44	72.58	10	14	6.6	2.08	76.63
5	9	6.7	2.35	73.60	11	15	6.5	2.15	75.84
6	10	6.7	2.26	74.61	12	16	6.5	2.26	74.61

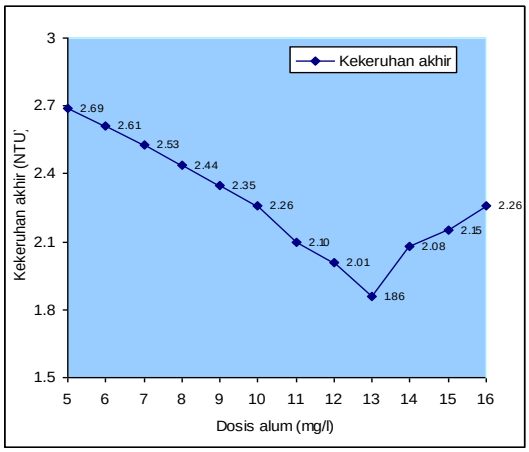
Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan:

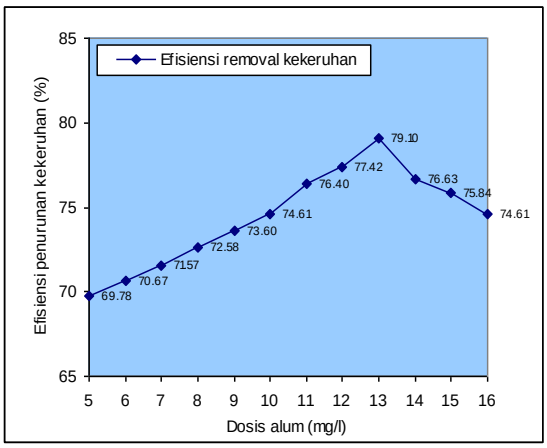
- Konsentrasi aluminium sulfat yang digunakan 1000 mg/l, sehingga 1 ml = 1 mg/l

1. Tabel 2 dengan kekeruhan awal 8,9 NTU; grafik akan mengalami penurunan sampai dosis alum 13 mg/l (Gambar 3a), kemudian naik lagi. Dari Gambar 3a dan Gambar 3b terlihat bahwa dengan dosis alum 13 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir 1,86 NTU dan efisiensi removal sebesar 79,1%.
2. Tabel 3 dengan kekeruhan awal 15,6 NTU; grafik akan mengalami penurunan sampai dosis alum 23 mg/l (Gambar 4a), kemudian naik lagi. Dari Gambar 4a dan Gambar 4b terlihat bahwa dengan dosis alum 23 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir yang rendah yaitu 1,96 NTU dan efisiensi removal tertinggi sebesar 87,56%.

Dari Tabel 2 - 3 serta Gambar 3a , 3b, 4a dan 4b terlihat bahwa dosis aluminium sulfat meningkat seiring dengan meningkatnya kekeruhan. Kekeruhan air baku yang rendah memerlukan dosis koagulan yang besar karena pada kekeruhan air baku yang rendah menyebabkan destabilisasi koloid melalui adsorpsi dan netralisasi muatan saja kurang efektif, maka destabilisasi yang efektif dicapai melalui terperangkapnya koloid oleh presipitat $Al(OH)_3$ atau yang dikenal dengan nama *sweep coagulation*.



Gambar 3a Hubungan antara Dosis Aluminium Sulfat terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU



Gambar 3b Hubungan antara Dosis Aluminium Sulfat terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU

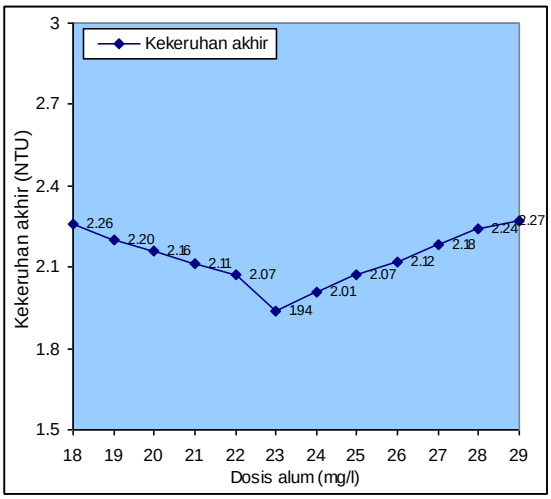
Tabel 3 Penentuan Dosis Optimum Aluminium Sulfat pada Kekeruhan Awal 15,6 NTU
Kekeruhan Awal : 15,6 NTU, pH : 7,00

No.	Dosis Alum (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Alum (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	18	6.4	2.26	85.51	7	24	6.4	2.01	87.12
2	19	6.4	2.20	85.90	8	25	6.3	2.07	86.73
3	20	6.4	2.16	86.15	9	26	6.3	2.12	86.41
4	21	6.4	2.11	86.47	10	27	6.3	2.18	86.03
5	22	6.4	2.07	86.73	11	28	6.3	2.24	85.64
6	**23**	**6.4**	**1.94**	**87.56**	12	29	6.2	2.27	85.45

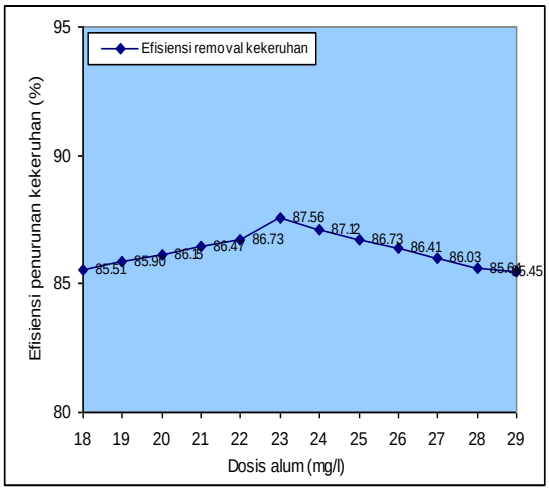
Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan:

- Konsentrasi aluminium sulfat yang digunakan 1000 mg/l, sehingga 1 ml = 1 mg/l



Gambar 4a Hubungan antara Dosis Aluminium Sulfat terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU



Gambar 4b Hubungan antara Dosis Aluminium Sulfat terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU

Kelarutan $Al(OH)_3$ sangat dipengaruhi oleh pH larutan. Pengaturan pH dilakukan agar kelarutan $Al(OH)_3$ minimum yaitu pada sekitar nilai 7.

Kehadiran alkaliniti mutlak diperlukan pada mekanisme koagulasi ini. Air baku pada penelitian ini adalah air PAM yang mempunyai alkaliniti sekitar 90 – 125 mg/l $CaCO_3$. Secara teoritis 1 mg/l alum akan bereaksi dengan kira-kira 0,5 mg/l alkaliniti, jadi sebenarnya hanya diperlukan 11,5 mg/l alkaliniti untuk
bereaksi dengan 23 mg/l alum. Hal ini menunjukkan bahwa 90 mg/l $CaCO_3$ adalah lebih dari cukup dalam proses koagulasi dengan aluminium sulfat. Jika aluminium sulfat dimasukkan ke dalam air dengan alkaliniti tinggi maka akan terjadi reaksi:

$Al_2(SO_4)_3 + 18H_2O + NaHCO_3 \rightleftarrows 3Na_2SO_4 + 2\ Al(OH)_3 + 6CO_2 + 18H_2O$,

Setelah penambahan dosis aluminium sulfat, maka pH akan turun. Hal ini disebabkan karena pada saat aluminium sulfat bereaksi dengan air membentuk presipitat $Al(OH)_3$, secara bersamaan aluminium sulfat juga akan melepaskan asam sehingga pH larutan menjadi turun.

ii. Koagulasi dengan Koagulan *Recovery* Alum

Koagulasi untuk menentukan dosis optimum koagulan *recovery* alum I dan II dilakukan pada kekeruhan awal 8,9 NTU dan 15,6 NTU dengan pH awal 7,00. Data hasil percobaan Jar test menggunakan koagulan *recovery* alum I dan II dapat dilihat pada Tabel 4, 5, 6 dan 7. Dari data-data tersebut dapat diketahui:

1. Tabel 4 dengan kekeruhan awal 8,9 NTU; grafik akan menurun sampai dosis *recovery* alum I 10,18 mg/l (Gambar 5a), kemudian naik lagi. Dari Gambar 5a dan Gambar 5b terlihat bahwa dengan dosis *recovery* alum I 10,18 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir 1,62 NTU dan efisiensi removal sebesar 81,79%.

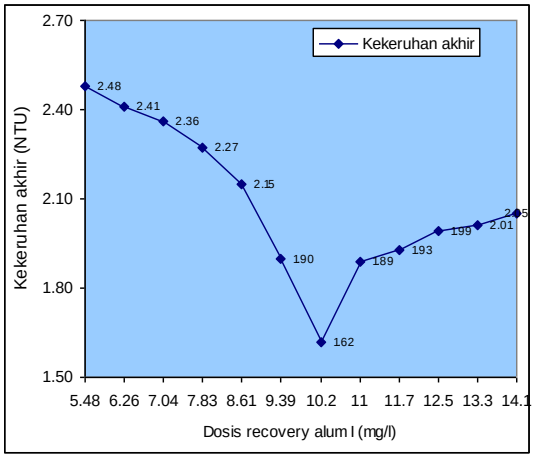
Tabel 4 Data Penentuan Dosis Optimum Recovery Alum I pada Kekeruhan Awal 8,9 NTU, Kekeruhan Awal : 8,9 NTU, pH : 7,00

No.	Dosis Rec Alum I (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Rec Alum I (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	5.48	6.8	2.48	72.13	**7**	**10.18**	**6.7**	**1.62**	**81.80**
2	6.26	6.8	2.41	72.92	8	10.96	6.7	1.89	78.76
3	7.04	6.8	2.36	73.48	9	11.74	6.7	1.93	78.31
4	7.83	6.8	2.27	74.49	10	12.52	6.7	1.99	77.64
5	8.61	6.8	2.15	75.84	11	13.3	6.7	2.01	77.42
6	9.39	6.7	1.90	78.65	12	14.09	6.6	2.05	76.97

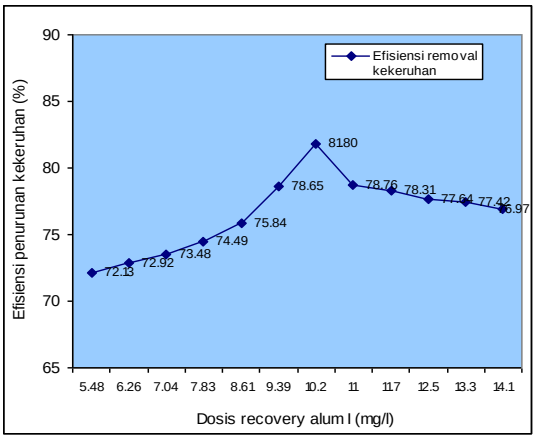
Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan:

- 1 ml lumpur yang telah direcovery = 7,828 mg/l recovery alum



Gambar 5a Hubungan antara Dosis Recovery Alum I terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU



Gambar 5b Hubungan antara Dosis Recovery Alum I terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU

Tabel 5 Data Penentuan Dosis Optimum Recovery Alum I pada Kekeruhan 15,6 NTU
Kekeruhan awal : 15,6 NTU, pH : 7,00

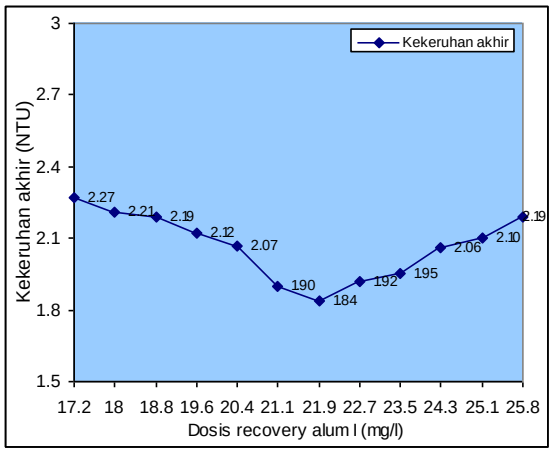
No.	Dosis Rec. Alum I (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Rec Alum I (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)

1	17.22	6.5	2.27	85.45	7	21.92	6.4	1.84	88.21
2	18.00	6.5	2.21	85.83	8	22.70	6.4	1.92	87.69
3	18.79	6.5	2.19	85.96	9	23.48	6.4	1.95	87.50
4	19.57	6.5	2.12	86.41	10	24.27	6.3	2.06	86.79
5	20.35	6.5	2.07	86.73	11	25.05	6.3	2.10	86.54
6	21.14	6.4	1.90	87.82	12	25.83	6.3	2.19	85.96

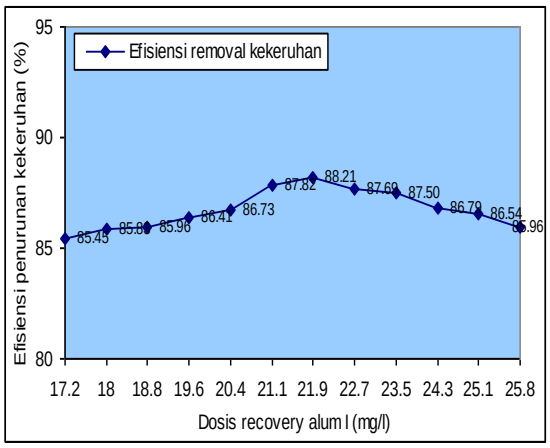
Sumber: Hasil perhitungan

Keterangan:

- 1 ml lumpur yang telah direcovery = 7,828 mg/l recovery alum



Gambar 6a Hubungan antara Dosis Recovery Alum I terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU



Gambar 6b Hubungan antara Dosis Recovery Alum I terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU

2. *Tabel 5 dengan kekeruhan* awal 15,6 NTU; grafik akan menurun sampai dosis *recovery* alum I 21,92 mg/l (Gambar 6a), kemudian naik lagi. Dari Gambar 6a dan Gambar 6b terlihat bahwa dengan dosis *recovery* alum I 21,92 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir 1,84 NTU dan efisiensi removal sebesar 88,2% akan menghasilkan kekeruhan akhir 1,62 NTU dan efisiensi removal sebesar 81,79%.
3. Tabel 5 dengan kekeruhan awal 15,6 NTU; grafik akan menurun sampai dosis *recovery* alum I 21,92 mg/l (Gambar 6a), kemudian naik lagi. Dari Gambar 6a dan Gambar 6b terlihat bahwa dengan dosis *recovery* alum I 21,92 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir 1,84 NTU dan efisiensi removal sebesar 88,2%.
4. Tabel 6 dengan kekeruhan awal 8,9 NTU; grafik akan menurun sampai dosis *recovery* alum II 10,62 mg/l (Gambar 7a), kemudian naik lagi. Dari Gambar 7a dan Gambar 7b terlihat bahwa dengan dosis *recovery* alum II 10,62 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir 1,78 NTU dan efisiensi removal sebesar 80,0%.

Tabel 6 Data Penentuan Dosis Optimum Recovery Alum II pada Kekeruhan Awal 8,9 NTU, Kekeruhan Awal : 8,9 NTU, pH : 7,00

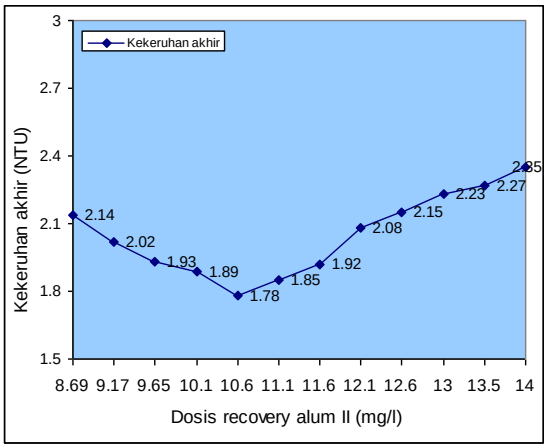
No.	Dosis Rec Alum II (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Rec Alum II (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	8.69	6.8	2.14	75.96	7	11.58	6.7	1.92	78.43
2	9.17	6.8	2.02	77.30	8	12.07	6.7	2.08	76.63
3	9.65	6.8	1.93	78.31	9	12.55	6.7	2.15	75.84
4	10.13	6.7	1.89	78.76	10	13.03	6.6	2.23	74.94
5	**10.62**	**6.7**	**1.78**	**80.00**	11	13.51	6.6	2.27	74.49

6	11.10	6.7	1.85	79.21	12	13.99	6.6	2.35	73.60

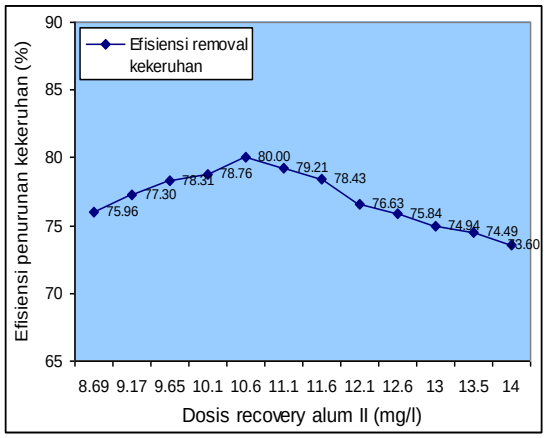
Sumber: Hasil percobaan dan perhitungan

Keterangan:

- 1 ml lumpur yang telah direcovery = 4,826 mg/l recovery alum



Gambar 7a Hubungan antara Dosis Recovery Alum II terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU



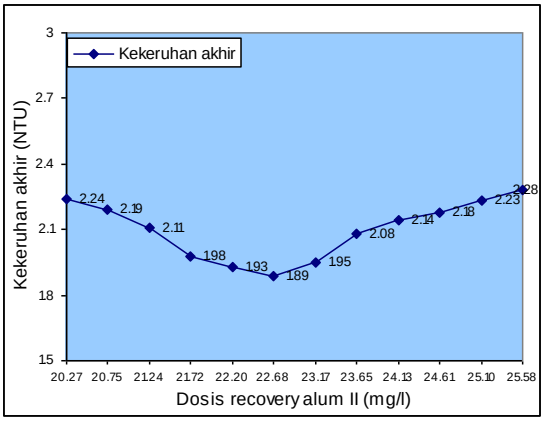
Gambar 7b Hubungan antara Dosis Recovery Alum II terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU

5. Tabel 7 dengan kekeruhan awal 15,6 NTU; grafik akan menurun sampai dosis *recovery* alum II 22,68 mg/l (Gambar 8a), kemudian naik lagi. Dari Gambar 8a dan Gambar 8b terlihat bahwa dengan dosis *recovery* alum II 22,68 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir 1,89 NTU dan efisiensi removal sebesar 87,88%.

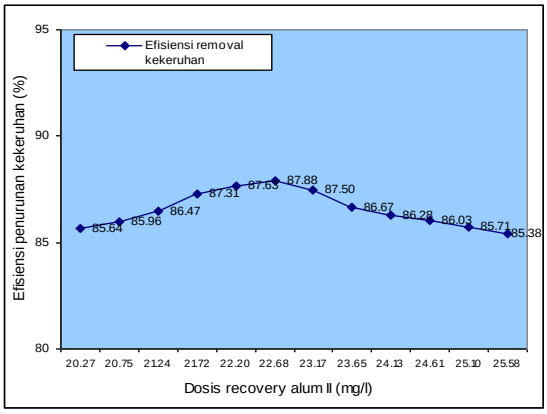
Tabel 7 Data Penentuan Dosis Optimum Recovery Alum II pada Kekeruhan 15,6 NTU, Kekeruhan awal : 15,6 NTU, pH : 7,00

No.	Dosis Rec. Alum II (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Rec Alum II (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	20.27	6.5	2.24	85.64	7	23.17	6.4	1.95	87.50
2	20.75	6.5	2.19	85.96	8	23.65	6.4	2.08	86.67
3	21.24	6.5	2.11	86.47	9	24.13	6.3	2.14	86.28
4	21.72	6.5	1.98	87.31	10	24.61	6.3	2.18	86.03
5	22.20	6.4	1.93	87.63	11	25.10	6.3	2.23	85.71
6	**22.68**	**6.4**	**1.89**	**87.88**	12	25.58	6.3	2.28	85.38

Keterangan: 1 ml lumpur yang telah direcovery = 4,826 mg/l recovery alum



Gambar 8a Hubungan antara Dosis Recovery Alum II terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU



Gambar 8b Hubungan antara Dosis Recovery Alum II terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU

sulfat. Hal ini disebabkan pada *recovery* alum yang digunakan sebagai koagulan merupakan filtrat $Al_2(SO_4)_3$ yang tidak disaring terlebih dahulu, sehingga masih mengandung koloid. Koloid-koloid inilah yang berfungsi sebagai penambah kekeruhan pada proses koagulasi, sehingga pembentukan flok menjadi lebih cepat dan lebih berat yang mangakibatkan kecepatan mengendap flok lebih besar. Penyebab lainnya adalah karena pada air baku IPAM Ngagel I terkandung logam besi, dimana pada proses koagulasi dibubuhkan koagulan aluminium sulfat sehingga logam besi tersebut akan membentuk endapan $Fe(OH)_3$, akibatnya lumpur yang digunakan untuk *recovery* mengandung endapan $Fe(OH)_3$.
Pada proses *recovery* alum dengan asidifikasi, endapan $Fe(OH)_3$ akan bereaksi juga dengan asam sulfat membentuk larutan $Fe_2(SO_4)_3$. Larutan $Fe_2(SO_4)_3$ ini merupakan koagulan juga yang digunakan pada proses koagulasi disamping alum, sehingga membantu proses koagulasi dengan *recovery* alum dan akibatnya dosis koagulan *recovery* alum yang digunakan akan lebih sedikit dibanding dengan koagulan aluminium sulfat.

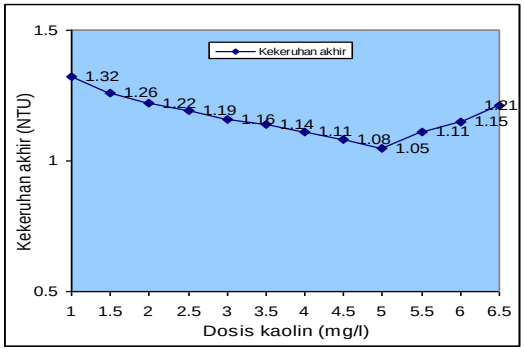
iii. Koagulasi dengan Koagulan Aluminium Sulfat + Kaolin

Koagulasi untuk menentukan dosis optimum aluminium sulfat + kaolin dengan kekeruhan awal 8,9 NTU dan 15,6 NTU pada pH awal 7 menggunakan dosis aluminium sulfat yang tetap, yang didasarkan pada hasil penentuan dosis aluminium sulfat pada Tabel 2 yaitu sebesar 13 mg/l (kekeruhan awal 8,9 NTU) dan Tabel 3 sebesar 23 mg/l (kekeruhan awal 15,6 NTU). Data dan hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9.

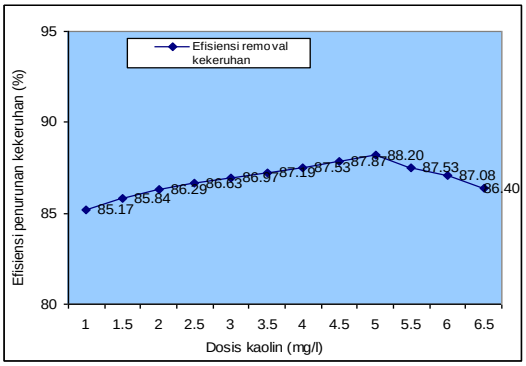
Tabel 8 Data Penentuan Dosis Optimum Aluminium Sulfat+Kaolin pada Kekeruhan Awal 8,9 NTU,
pH awal : 7,0

No.	Dosis Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	13.0	1.0	6.6	1.32	85.17	7	13.0	4.0	6.6	1.11	87.53
2	13.0	1.5	6.6	1.26	85.84	8	13.0	4.5	6.6	1.08	87.87
3	13.0	2.0	6.6	1.22	86.29	**9**	**13.0**	**5.0**	**6.6**	**1.05**	**88.20**
4	13.0	2.5	6.6	1.19	86.63	10	13.0	5.5	6.6	1.11	87.53
5	13.0	3.0	6.6	1.16	86.97	11	13.0	6.0	6.6	1.15	87.08
6	13.0	3.5	6.6	1.14	87.19	12	13.0	6.5	6.6	1.21	86.40

Sumber: Hasil percobaan dan perhitungan
Keterangan: Konsentrasi kaolin yang digunakan 1000 mg/l, sehingga 1 ml kaolin = 1 mg/l kaolin



Gambar 9a Hubungan antara Dosis Alum+Kaolin terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 8.9 NTU



Gambar 9b Hubungan antara Dosis Alum+Kaolin terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 8.9 NTU

Dengan membandingkan hasil dari koagulan aluminium sulfat saja, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

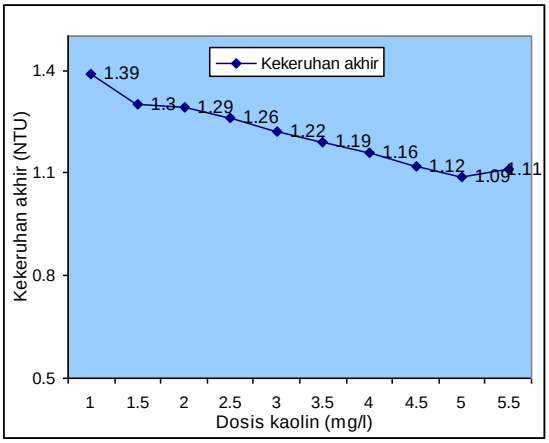
1. Tabel 8 dengan kekeruhan awal 8,9 NTU; grafik akan menurun sampai dosis kaolin 5 mg/l (Gambar 9a), kemudian naik lagi. Dari Tabel 8 terlihat bahwa untuk dosis aluminium sulfat 13 mg/l digabung dengan dosis kaolin 5 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir 1,05 NTU dan pH akhir tetap. Hal ini menunjukkan bahwa dosis optimum aluminium sulfat + kaolin ini akan menghasilkan kekeruhan akhir lebih kecil dibandingkan dengan dosis optimum aluminium sulfat saja, dan efisiensinya meningkat 9,1% menjadi 88,2% (Gambar 9b).
2. Tabel 9 dengan kekeruhan awal 15,6 NTU; grafik akan menurun sampai dosis kaolin 5 mg/l (Gambar 10a), kemudian naik lagi. Dari Tabel 9 terlihat bahwa dengan dosis alum 23 mg/l digabung dengan dosis kaolin 5 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir yang rendah yaitu 1,09 NTU dan pH akhir tetap. Hal ini menunjukkan bahwa dosis optimum aluminium sulfat+kaolin ini akan menghasilkan kekeruhan akhir lebih kecil dibandingkan dengan dosis optimum aluminium sulfat saja, dan efisiensinya meningkat 5,45% menjadi 93,01% (gambar 10b).

Tabel 9 Data Penentuan Dosis Optimum Aluminium Sulfat+Kaolin pada Kekeruhan Awal 15,6 NTU, pH awal : 7,00.

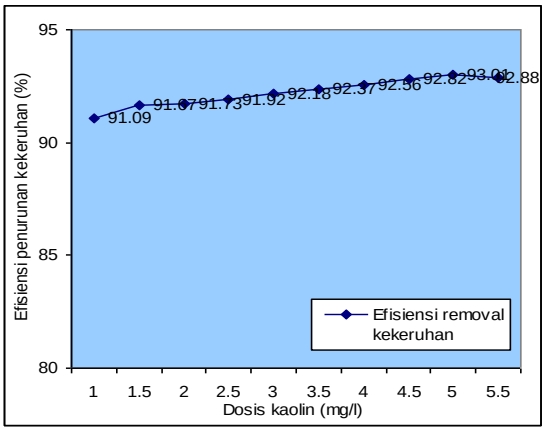
No.	Dosis Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	23.0	1.0	6.4	1.39	91.09	7	23.0	4.0	6.4	1.16	92.56
2	23.0	1.5	6.4	1.30	91.67	8	23.0	4.5	6.4	1.12	92.82
3	23.0	2.0	6.4	1.29	91.73	**9**	**23.0**	**5.0**	**6.4**	**1.09**	**93.01**
4	23.0	2.5	6.4	1.26	91.92	10	23.0	5.5	6.4	1.11	92.88
5	23.0	3.0	6.4	1.22	92.18	11	23.0	6.0	6.4	1.15	92.63
6	23.0	3.5	6.4	1.19	92.37	12	23.0	6.5	6.4	1.18	92.44

Sumber: Hasil percobaan dan perhitungan

Keterangan: Konsentrasi kaolin yang digunakan 1000 mg/l, sehingga 1 ml kaolin = 1 mg/l kaolin



Gambar 10a Hubungan antara Dosis Alum+Kaolin terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU



Gambar 10b Hubungan antara Dosis Alum+Kaolin terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU

Dari Tabel 8 - 9 terlihat bahwa kaolin hanya menaikkan efisiensi penurunan kekeruhan sebesar 5,45% - 9,1%. Hal ini disebabkan karena efisiensi penurunan kekeruhan dari koagulasi aluminium sulfat itu sendiri sudah tinggi, yaitu lebih dari 75%.

iv. Koagulasi dengan Koagulan *Recovery* Alum + Kaolin

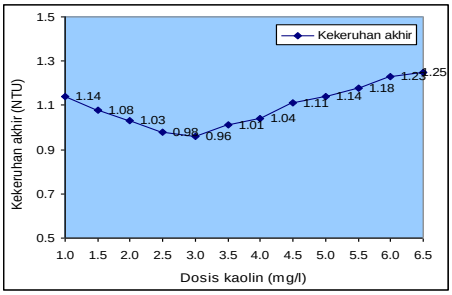
Data dan hasil penelitian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 10, 11, 12 dan 13. Dengan membandingkan hasil dari koagulan *recovery* alum saja, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Tabel 10 dengan kekeruhan awal 8,9 NTU; grafik akan menurun sampai dosis kaolin 3 mg/l (Gambar 11a), kemudian naik lagi. Dari Tabel 10 terlihat bahwa untuk dosis *recovery* alum I 10,18 mg/l digabung dengan dosis kaolin 3 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir 0,96 NTU dan pH akhir tetap. Hal ini menunjukkan bahwa untuk dosis optimum *recovery* alum I 10,18 mg/l digabung dengan dosis kaolin 3 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir lebih kecil dan efisiensinya meningkat 7,42% menjadi 89,21% (Gambar 11b).
2. Tabel 11 dengan kekeruhan awal 15,6 NTU; grafik akan menurun sampai dosis kaolin 4 mg/l (Gambar 12a), kemudian naik lagi. Dari Tabel 11 terlihat bahwa untuk dosis *recovery* alum I 21,92 mg/l digabung dengan dosis kaolin 4 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir yang rendah yaitu 1,01 NTU dan pH akhir tetap. Hal ini menunjukkan bahwa untuk dosis optimum *recovery* alum I 21,92 mg/l digabung dengan dosis kaolin 4 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir lebih kecil dan efisiensinya meningkat 5,32% menjadi 93,52% (Gambar 12b).
3. Tabel 12 dengan kekeruhan awal 8,9 NTU; grafik akan menurun sampai dosis kaolin 3,5 mg/l (Gambar 13a), kemudian naik lagi. Dari Tabel 12 terlihat bahwa untuk dosis *recovery* alum II 10,62 mg/l digabung dengan dosis kaolin 3,5 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir 0,99 NTU dan pH akhir tetap. Hal ini menunjukkan bahwa untuk dosis optimum *recovery* alum II 10,62 mg/l digabung dengan dosis kaolin 3,5 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir lebih kecil dan efisiensinya meningkat 8,87% menjadi 88,87% (Gambar 13b).

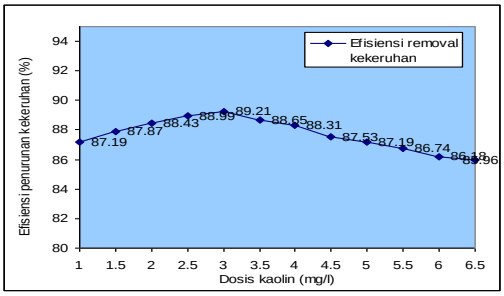
Tabel 10 Data Penentuan Dosis Optimum Recovery Alum I+Kaolin pada Kekeruhan Awal 8,9 NTU, pH : 7,00

No.	Dosis Rec. I Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Rec. I Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	10.18	1.0	6.7	1.14	87.19	7	10.18	4.0	6.7	1.04	88.31
2	10.18	1.5	6.7	1.08	87.87	8	10.18	4.5	6.7	1.11	87.53
3	10.18	2.0	6.7	1.03	88.43	9	10.18	5.0	6.7	1.14	87.19
4	10.18	2.5	6.7	0.98	88.99	10	10.18	5.5	6.7	1.18	86.74
5	**10.18**	**3.0**	**6.7**	**0.96**	**89.21**	11	10.18	6.0	6.7	1.23	86.18
6	10.18	3.5	6.7	1.01	88.65	12	10.18	6.5	6.7	1.25	85.96

Sumber: Hasil percobaan dan perhitungan



Gambar 11a Hubungan antara Dosis Recovery Alum I+Kaolin terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU



Gambar 11b. Hubungan antara dosis recovery Alum I + Kaolin terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU

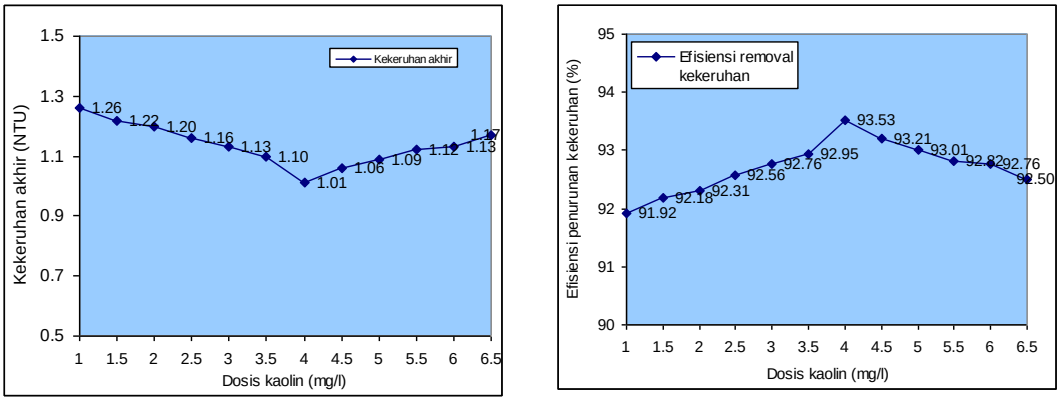
Tabel 11 Data Penentuan Dosis Optimum Recovery Alum I+Kaolin pada Kekeruhan Awal 15.6 NTU

Kekeruhan awal : 15.6 NTU

pH : 7,00

No.	Dosis Rec. I Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Rec. I Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	21.92	1.0	6.4	1.26	91.92	**7**	**21.92**	**4.0**	**6.4**	**1.01**	**93.53**
2	21.92	1.5	6.4	1.22	92.18	8	21.92	4.5	6.4	1.06	93.21
3	21.92	2.0	6.4	1.20	92.31	9	21.92	5.0	6.4	1.09	93.01
4	21.92	2.5	6.4	1.16	92.56	10	21.92	5.5	6.4	1.12	92.82
5	21.92	3.0	6.4	1.13	92.76	11	21.92	6.0	6.4	1.13	92.76
6	21.92	3.5	6.4	1.10	92.95	12	21.92	6.5	6.4	1.17	92.50

Sumber: Hasil percobaan dan perhitungan



Gambar 12a Hubungan antara Dosis Recovery Alum I+Kaolin terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU

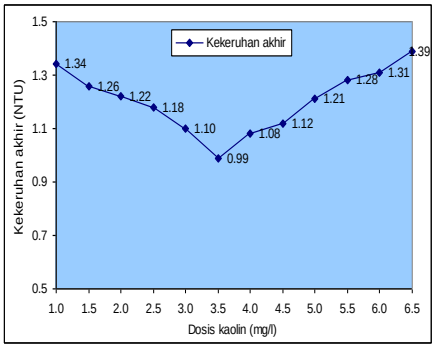
4. Tabel 13 dengan kekeruhan awal 15,6 NTU; grafik akan menurun sampai dosis kaolin 4 mg/l (Gambar 14a), kemudian naik lagi. Dari Tabel 13 terlihat bahwa untuk dosis *recovery* alum II 22,68 mg/l digabung dengan dosis kaolin 4 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir yang rendah yaitu 1,03 NTU dan pH akhir tetap. Hal ini menunjukkan bahwa untuk dosis optimum *recovery* alum II 22,68 mg/l digabung dengan dosis kaolin 4 mg/l akan menghasilkan kekeruhan akhir lebih kecil dan efisiensinya meningkat 5,52% menjadi 93,4% (Gambar 14b).

Tabel 12 Data Penentuan Dosis Optimum Recovery Alum II+Kaolin pada Kekeruhan Awal 8,9 NTU, Kekeruhan awal : 8,9 NTU, pH : 7,00

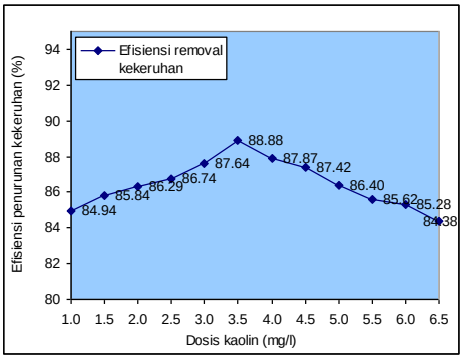
No.	Dosis Rec.II Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Rec.II Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	10.62	1.0	6.7	1.34	84.94	7	10.62	4.0	6.7	1.08	87.87
2	10.62	1.5	6.7	1.26	85.84	8	10.62	4.5	6.7	1.12	87.42
3	10.62	2.0	6.7	1.22	86.29	9	10.62	5.0	6.7	1.21	86.40
4	10.62	2.5	6.7	1.18	86.74	10	10.62	5.5	6.7	1.28	85.62
5	10.62	3.0	6.7	1.10	87.64	11	10.62	6.0	6.7	1.31	85.28
6	**10.62**	**3.5**	**6.7**	**0.99**	**88.88**	12	10.62	6.5	6.7	1.39	84.38

Sumber: Hasil percobaan dan perhitungan

Dari Tabel 10 - 13 terlihat bahwa kaolin hanya menaikkan efisiensi penurunan kekeruhan sebesar 5,32% - 8,87%. Hal ini disebabkan karena efisiensi penurunan kekeruhan dari koagulasi *recovery* alum itu sendiri sudah tinggi, yaitu lebih dari 75%. Penambahan kaolin pada koagulasi dengan *recovery* alum dibutuhkan dosis kaolin yang lebih sedikit dibanding dengan koagulasi dengan koagulan aluminium sulfat.



Gambar 13a Hubungan antara Dosis Revovery Alum II+Kaolin terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU

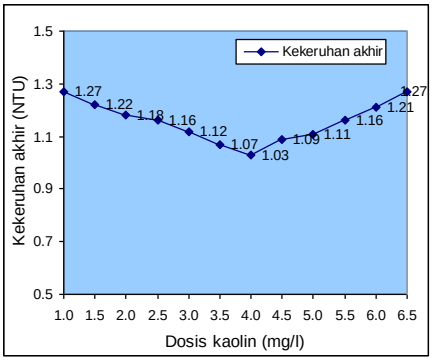


Gambar 13b Hubungan antara Dosis Recovery Alum II+Kaolin terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 8,9 NTU

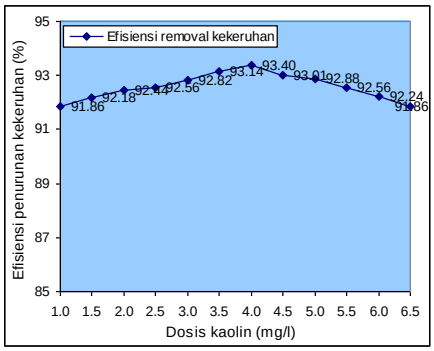
Tabel 13 Data Penentuan Dosis Optimum Recovery Alum II+Kaolin pada Kekeruhan Awal 15,6 NTU
Kekeruhan awal : 15,6 NTU
pH : 7,00

No.	Dosis Rec.II Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU	Efisiensi removal kekeruhan (%)	No.	Dosis Rec.II Alum (mg/l)	Dosis Kaolin (mg/l)	pH	Keke-ruhan akhir (NTU)	Efisiensi removal kekeruhan (%)
1	22.68	1.0	6.4	1.27	91.86	7	22.68	4.0	6.4	1.03	93.40
2	22.68	1.5	6.4	1.22	92.18	8	22.68	4.5	6.4	1.09	93.01
3	22.68	2.0	6.4	1.18	92.44	9	22.68	5.0	6.4	1.11	92.88
4	22.68	2.5	6.4	1.16	92.56	10	22.68	5.5	6.4	1.16	92.56
5	22.68	3.0	6.4	1.12	92.82	11	22.68	6.0	6.4	1.21	92.24
6	22.68	3.5	6.4	1.07	93.14	12	22.68	6.5	6.4	1.27	91.86

Sumber: Hasil percobaan dan perhitungan



Gambar 14a Hubungan antara Dosis Recovery Alum II+Kaolin terhadap Kekeruhan Akhir dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU



Gambar 14b Hubungan antara Dosis Recovery Alum II+Kaolin terhadap Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Kekeruhan Awal 15,6 NTU

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa:

1. Lumpur dari Clearator IPAM Ngagel Jaya I yang banyak mengandung alum dapat di*recovery* sebesar (65,40 – 78,00)%, sehingga dapat digunakan sebagai koagulan pada proses koagulasi – flokulasi.
2. *Recovery* alum sangat baik digunakan sebagai koagulan dibandingkan dengan aluminium sulfat (tawas murni) untuk kekeruhan air baku pada musim kemarau. Hal ini disebabkan pada *recovery* alum yang digunakan untuk koagulan ini tidak disaring terlebih dahulu sehingga masih mengandung koloid, dan koloid inilah yang berfungsi sebagai penambah kekeruhan yang dapat membantu pada proses koagulasi - flokulasi.
3. Pemakaian H_2SO_4 untuk pembuatan r*ecovery* alum tidak selamanya lebih ekonomis bila dibandingkan dengan pemakaian tawas. Hal ini tergantung pada kuantitas kandungan logam-logam selain alum yang juga terdapat pada lumpur tersebut.
4. Koagulan aluminium sulfat dan *recovery* alum mempunyai pengaruh yang hampir sama pada proses koagulasi – flokulasi dalam menurunkan kekeruhan. Pada dosis optimumnya, efisiensi removal kekeruhan koagulan aluminium sulfat dengan kekeruhan awal 8,9 NTU adalah 79,1% dan kekeruhan awal 15,6 NTU adalah 87,56%, sedangkan untuk koagulan recovery alum I dan II rata-rata efisiensi removal kekeruhan pada kekeruhan awal 8,9 NTU adalah 80,9% dan kekeruhan awal 15,6 NTU adalah 88,04%.
5. Penambahan kaolin baik pada koagulan aluminium sulfat maupun *recovery* alum memberi pengaruh yang berbeda secara nyata pada penurunan kekeruhan bila dibandingkan dengan penggunaan koagulan aluminium sulfat atau *recovery* alum secara sendirian (tanpa penambahan kaolin) pada proses koagulasi – flokulasi. Hal ini terbukti dengan meningkatnya efisiensi removal kekeruhan. Pada kekeruhan awal 8,9 NTU dan dosis optimalnya, efisiensi removal kekeruhan koagulan aluminium sulfat+kaolin meningkat sebesar 9,1%; sedangkan efisiensi removal kekeruhan koagulan *recovery* alum+kaolin, baik *recovery* alum I maupun II meningkat rata-rata sebesar 8,15%. Pada kekeruhan awal 15,6 NTU dan dosis optimalnya, efisiensi removal kekeruhan koagulan aluminium sulfat+kaolin meningkat sebesar 5,45%; sedangkan efisiensi removal kekeruhan koagulan *recovery* alum+kaolin, baik *recovery* alum I maupun II meningkat rata-rata sebesar 5,42%.

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Sebelum melakukan recovery alum dengan asidifikasi perlu dilakukan pemisahan alum dengan logam lainya yang terdapat dalam lumpur dengan cara *ion exchange*. Logam-logam seperti besi, seng dan chromium yang terdapat dalam lumpur akan meningkatkan pemakaian asam sulfat yang berarti menambah biaya *recovery* alum.
2. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai uji keefektifan *recovery* alum sebagai koagulan dalam menurunkan kekeruhan pada musim hujan.

3. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kandungan logam berat pada air baku pada proses koagulasi – flokulasi dengan menggunakan koagulan hasil *recovery* alum

DAFTAR PUSTAKA

Alaerts, G., Sri Sumestri Santika. *Metode Penelitian Air*. Penerbit Usaha Nasional, Surabaya.1987.

AWWA, *Water Treatment Plant Design*. 2nd edition, American Society of Civil Engineers, Mc Graw Hill Inc. USA, 1990

Bennefields L.D., Joseph F. Judkins, Jr., Baron, L.W. Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment. Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs. New Jersey 07632, 1982

Cornwell David A., and Susan James A. *Characteristics of Acid Treated Alum Sludge*. JAWWA. October, 1979

Culp, R.L, Wesner, G.M., Culp, G.L. *Handbook of Public Water System*. Van Nostrand Reinhold. New York. 1986

Eckenfelder, W. Wesley, Jr. *Industrial Water Pollution Control*. 2nd edition, Mc Graw Hill Book Company, USA, 1989

Monod, J. *Water Treatment Handbook*. Sixth edition, Degremont, 1971

Peavy, H.S., Rowe, Tchobanoglous, G, *Environmental Engineering,* Mc Graw Hill International, Civil Engineering Series, 1985

Reynolds, Tom D. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California, 1982

Roberts J.M., and Roddy C.P. *Recovery and Reuse of Alum Sludge at Tampa*. JAWWA, July, 1960

Soemarwoto, Otto. *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan*. Cetakan IX, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. 2001.

*) *Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadyah Jember*