

STUDI PEMANFAATAN PRODUK *RECOVERY* ALUM DARI LUMPUR IPAM SEBAGAI KOAGULAN PADA PROSES KOAGULASI – FLOKULASI

Serly Oktaviani^{*1)} dan Agus Slamet¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Kompleks Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

^{*)}E-mail: serlyovia@gmail.com

Abstrak

Produksi lumpur unit *clearator* pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) cukup besar. Lumpur dari unit *clearator* ini masih mengandung aluminium cukup besar. Kandungan Al dalam lumpur ini bisa dimanfaatkan kembali melalui proses *recovery*. Metode *recovery* dalam penelitian menggunakan proses asidifikasi yakni dengan menambahkan larutan asam sampai pH 1-3. Efektifitas Al hasil *recovery* sebagai koagulan diuji dengan menambahkan pada proses koagulasi-flokulasi menggunakan air baku yang sama. Penelitian dilakukan dengan variasi pH, kecepatan dan waktu pengadukan. Variasi pH dilakukan pada pH 2, 3 dan 4, sedangkan kecepatan pengadukan pada 100 dan 120 rpm, dengan waktu pengadukan 30 dan 45 menit. Hasil penelitian proses *recovery* alum diperoleh kondisi terbaik pada pH 2, kecepatan pengadukan 100 rpm dengan waktu pengadukan 45 menit, menghasilkan kadar alum sebesar 3,2912 mg Al/ gram lumpur kering. Efektifitas Al *recovery* diuji pada proses koagulasi dan flokulasi dengan kombinasi Al *recovery* dan tawas asli pada variasi kekeruhan air 13 NTU, 11 NTU dan 10 NTU. Hasil penelitian terbaik pada kekeruhan air 11 NTU dengan kombinasi tawas asli dan Al *recovery* 3:2 menghasilkan kekeruhan akhir 0,75 NTU. Analisis perbandingan biaya pengolahan air menggunakan Al produk *recovery*, kombinasi dan tawas asli berturut turut sebesar Rp 32.500,- , Rp 13.510,-, dan Rp 850. Proses *recovery* tidak layak untuk proses bisnis, namun layak untuk pengendalian pencemaran lingkungan.

Kata kunci: Alum, Lumpur, Koagulasi–Flokulasi, *Recovery*

Abstract

There is a relatively large amount of sludge generated at a clearator in a potable water treatment plant (IPAM). The sludge from a clearator would still contain quite a large amount of aluminum. The Al content in the sludge can be reused through the process of recovery. The method of recovery used in the research was acidification process i.e. addition of acidic liquid to reach a pH of 1-3. The effectiveness of Al from recovery as coagulant was tested by adding it to coagulation-flocculation process using the same standard water. Research was done by varying pH, speed and time of stirring. pH variations used were 2, 3 and 4, with stirring speed varied at 100 and 120 rpm, and stirring times at 30 and 45 minutes. The results showed that optimum aluminum recovery occurred at pH level of 2, stirring speed of 100 rpm and stirring time of 45 minutes, generating aluminum level of 3.2912 mg Al per gram of dry sludge. The effectiveness of Al recovery was tested on the process of coagulation dan flocculation with a combination of recovered Al and original alum at water turbidity levels of 13 NTU, 11 NTU and 10 NTU. Research results showed that the optimum process occurred at water turbidity level of 11 NTU and a combination of original alum and recovered Al at 3:2 ratio, generating final turbidity of 0.75 NTU. An analysis to compare water treatment cost using recovered Al, original Alum, and a combination of both found that the costs were Rp. 32,500, Rp. 13,510, and Rp. 850 respectively. The recovery process would not be proper for bussines process, but suitable for environmental pollution control.

Keywords: Aluminum, Sludge, Coagulation–Flocculation, *Recovery*

1. PENDAHULUAN

Lumpur merupakan produk samping dari aktivitas IPAM. Volume lumpur bergantung dengan debit air baku dan kandungan padatan total dalam air baku yang digunakan. Debit air kurang lebih 2000 L/ detik. Lumpur yang dihasilkan dari unit sebesar 253,649 m³/ hari (Firiziqy dan Serly, 2017). Lumpur yang dihasilkan dari unit *clearator* memiliki kandungan alum dan akan sangat berpengaruh kepada kualitas lingkungan jika dibuang dengan jumlah yang besar (Irfan, 2007).

Disisi lain, lumpur yang dihasilkan oleh PDAM masih mengandung alum sebanyak 95,97 % yang dapat di *recovery* dengan asam sulfat konsentrasi 6 N (Wahyudin, 2001). Proses *recovery* alum umumnya menggunakan metode asidifikasi. Asam yang digunakan pada asidifikasi adalah H₂SO₄ dengan menggunakan variasi konsentrasi dan pH (Ruri dan Boavantura, 2000). Asidifikasi merupakan proses penambahan asam hingga mencapai pH 2 untuk melarutkan alum yang terkandung pada lumpur keluaran unit *clearator* (Cundari dkk., 2016). Kandungan alum ini dapat dimanfaatkan kembali pada pengolahan air minum di PDAM. Koagulasi menggunakan alum hasil proses *recovery* menghasilkan persen penyisihan yang cukup tinggi dibandingkan dengan alum murni. Proses *recovery* alum menggunakan asam sulfat sebagai pereaksi dengan konsentrasi 6 N (Wahyudin, 2001). Dalam penelitian ini akan menganalisis faktor yang mempengaruhi proses *recovery* dengan metode asidifikasi yaitu pH dan kecepatan pengadukan. Alum hasil *recovery* akan dikombinasikan dengan tawas murni untuk substitusi proses koagulasi flokulasi.

2. METODA

Ide Penelitian

Ide penelitian ini berasal dari penelitian terdahulu mengenai uji kelayakan *recovery*

alum pada lumpur hasil proses koagulasi – flokulasi di IPAM. Kandungan alum pada lumpur IPAM berdasarkan penelitian cukup tinggi, sehingga memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan kembali. Kondisi saat ini lumpur di IPAM masih dibuang ke sungai tanpa pengolahan lebih lanjut. Berdasarkan permasalahan tersebut maka diperlukan penelitian mengenai *recovery* lumpur alum PDAM yang dapat digunakan kembali untuk substitusi proses koagulasi – flokulasi.

Pengumpulan Data

Data primer yang didapatkan dari penelitian ini berasal dari hasil pengamatan analisis laboratorium. Analisis laboratorium dalam penelitian ini meliputi analisis kadar Al, Fe, kekeruhan dan pH.

Pelaksanaan Penelitian

a) Penelitian pendahuluan

Sebelum proses *recovery* alum dengan metode asidifikasi menggunakan asam sulfat, perlu dilakukan penelitian pendahuluan terlebih dahulu terhadap sampel yang digunakan. Hal ini untuk mengetahui kondisi awal sampel. Parameter yang diuji pada penelitian pendahuluan ini antara lain :

- a. Kadar Al dalam lumpur
- b. Kadar solid dan kadar air
- c. pH lumpur

b) *Recovery* alum

Pada proses ini kandungan alum yang terdapat pada lumpur PDAM di-*recovery* sehingga dapat digunakan kembali untuk substitusi proses koagulasi-flokuasi. Proses *recovery* alum menggunakan metode asidifikasi dengan asam sulfat. Pada tahap ini menentukan pH optimum asam sulfat serta kecepatan pengadukan dan waktu optimum yang dapat menghasilkan nilai *recovery* alum yang maksimal. Variasi pH yang digunakan adalah 1-4. Variasi kecepatan dan lama pengadukan yang digunakan adalah 100 rpm-30 menit, 100 rpm-45 menit, 120 rpm-30

menit, dan 120 rpm/45 menit. Langkah dalam proses asidifikasi adalah sebagai berikut:

- Proses asidifikasi dengan *jar-test*

Proses asidifikasi merupakan tahap awal dalam *recovery* alum dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Lumpur dikeringkan terlebih dahulu dengan menggunakan oven.
2. Penambahan asam sulfat untuk mencapai pH 1-4. Massa lumpur yang digunakan adalah 30 gr pada volume 300 ml.
3. Pengadukan menggunakan peralatan *jar-test* dengan variasi kecepatan dan waktu pengadukan 100 rpm-30 menit, 100 rpm-45 menit, 120 rpm-30 menit, dan 120 rpm/45 menit.
4. Pengendapan lumpur selama 30 menit, kemudian mengambil bagian filtratnya. Filtrat ini akan digunakan pada proses koagulasi flokulasi.

- Analisis akhir

Untuk mengetahui keberhasilan proses *recovery* alum dilakukan analisis pada setiap variasi lumpur yang telah terasidifikasi. Analisa akhir ini menggunakan ICP untuk mengetahui kadar Al. Parameter yang dianalisa antara lain:

- a. Kadar Al filtrat pada setiap variasi
- b. Volume filtrat

- c) Substitusi proses koagulasi-flokulasi

Pada tahap ini menentukan konsentrasi dosis optimum kombinasi tawas murni dengan alum *recovery* untuk substitusi proses koagulasi-flokulasi. Sebelum proses koagulasi-flokulasi diperlukan analisa karakteristik awal air baku yang akan digunakan. Parameter yang diuji antara lain kekeruhan, alkalinitas dan pH. Proses koagulasi-flokulasi menggunakan *jar-test* sebagai reaktor untuk menentukan dosis optimum kombinasi tawas murni dan tawas hasil *recovery*. Dosis yang digunakan pada tawas murni dan alum *recovery* yaitu 35 mg/L, 40 mg/L, 45 mg/L, 50 mg/L, 55 mg/L, 60 mg/L. Variasi pada kombinasi antara tawas murni dengan produk *recovery* yaitu 1:4, 2:3, 1:1, 3:2 dan 4:1.

Pengolahan Data

- a) Perhitungan hasil *recovery* alum

Konsentrasi optimum asam sulfat yang dapat digunakan pada penelitian ini diketahui dari seberapa banyak kandungan alum yang dihasilkan. Variasi pH asam sulfat yang digunakan pada penelitian ini adalah 1 dan 2, serta variasi kecepatan pengadukan 100 rpm-30 menit, 100 rpm-45 menit, 120 rpm-30 menit, dan 120 rpm/45 menit. Kemudian dibuat grafik untuk menentukan titik optimum dimana asam sulfat dapat me-*recovery* lumpur dengan melihat nilai parameter uji. Parameter yang digunakan antara lain:

- Kadar Al filtrat pada setiap variasi
- Volume filtrat
- Kadar solid
- Kadar air

- b) Perhitungan dosis optimum kombinasi alum *recovery* dengan tawas murni untuk substitusi proses koagulasi flokulasi

Kemampuan kombinasi tawas murni dan alum *recovery* dalam proses koagulasi-flokulasi dilakukan perhitungan nilai kekeruhan dan pH di awal serta menguji kekeruhan dan pH sesudah proses koagulasi-flokulasi. Hasil perhitungan dibuat dalam bentuk grafik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Proses *Recovery* Alum

Pada analisis pendahuluan didapatkan karakteristik lumpur awal sebagai berikut:

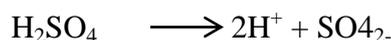
Kadar solid lumpur : 18,38 %

Kadar air lumpur : 81,62 %.

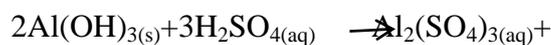
Pada penelitian ini asam yang digunakan adalah asam sulfat (H₂SO₄). Lumpur yang digunakan pada penelitian ini berupa lumpur basah dari unit *holding tank*. Lumpur dikeringkan di dalam oven 105°C selama satu hari. Lumpur kering ditumbuk hingga halus kemudian ditimbang dengan perbandingan konsentrasi pada larutan 10%. Lumpur kering

dilarutkan dengan aquades kemudian ditambahkan asam sulfat dengan volume tertentu hingga mencapai pH 2, 3 dan 4. Larutan lumpur diaduk dengan menggunakan jartest sesuai dengan variabel penelitian yang digunakan yaitu variasi kecepatan pengadukan 100 rpm-30 menit, 100 rpm-45 menit, 120 rpm-30 menit, dan 120 rpm/45 menit.

Sampel lumpur yang digunakan dalam penelitian ini mengandung $\text{Al}(\text{OH})_3$. $\text{Al}(\text{OH})_3$ merupakan senyawa yang bersifat amfotir. Pada kondisi ini $\text{Al}(\text{OH})_3$ sebagai basa lemah. Asam sulfat yang ditambahkan ke dalam air akan mengalami ionisasi melepaskan ion H^+ dengan reaksi sebagai berikut:



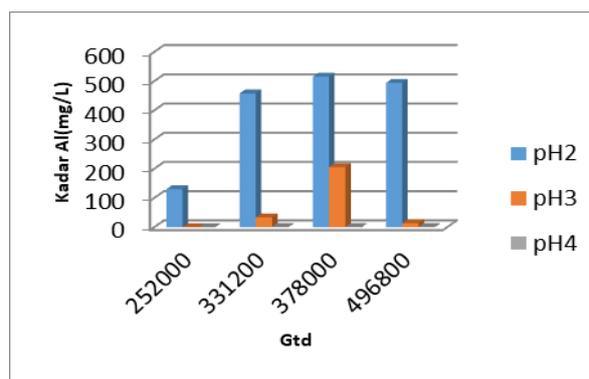
Ion H^+ yang terlepas akan menguraikan Al yang terkandung pada $\text{Al}(\text{OH})_3$, sehingga menjadi Al^{3+} . Al^{3+} akan berikatan dengan ion sulfat dan akan menghasilkan garam alumunium sulfat. Reaksi yang dihasilkan adalah sebagai berikut:



Pada penelitian ini menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi 4 N. Hasil analisis proses asidifikasi dapat dilihat pada Tabel 1. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses asidifikasi adalah kecepatan pengadukan. Berdasarkan data penelitian Gambar 1 tampak bahwa kadar Al bervariasi pada kecepatan pengadukan. Namun, Gambar 1 terlihat bahwa kadar Al maksimal berada pada kecepatan 100 rpm, Gtd 378000 pH 2 dengan kadar 515,1 mg/L. Kandungan alum ini terhitung masih rendah karena hanya ada 5,15 mg dalam satu gram berat kering lumpur. Namun, hal ini masih memberikan peluang untuk dimanfaatkan kembali.

Tabel 1. Hasil analisis Al^{3+}

No	pH	GTD	Volume pembubuhan Asam Sulfat (ml)	Volume filtrat	Kadar Al (mg/L)	Berat kering (g)	kadar Al dalam berat kering (mg/g)
1	2	252000	10	235	130,2	30	1,302
2	2	378000	11	230	445,9	30	4,459
3	2	331200	10	235	457,9	30	4,579
4	2	496800	11	225	184,9	30	1,849
5	3	252000	2,6	230	0,231	30	0,0023
6	3	378000	3,3	235	1,549	30	0,0155
7	3	331200	3,3	225	33,76	30	0,3376
8	3	496800	2,6	230	1,148	30	0,0115
9	4	252000	2,5	235	0,123	30	0,0012
10	4	378000	2	225	0,925	30	0,0093
11	4	331200	1,9	230	1,284	30	0,0128
12	4	496800	1,9	235	0,861	30	0,0086



Gambar 1. Perbandingan Gtd dengan produk *recovery* (mg/L)

Data penelitian menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan tidak berbanding lurus dengan kadar Al. Faktor pH dan waktu pengadukan saling berhubungan satu sama lain, sehingga tidak dapat diputuskan semakin cepat semakin baik. Apabila semakin cepat kadar Al yang tersisa pada filtrat akan ikut menjadi flok, sehingga Al yang tersisa dalam filtrat akan semakin sedikit. Proses asidifikasi bertujuan untuk melepaskan kembali ion Al pada lumpur padat menuju bagian filtrat atau melarutnya logam alumunium oleh asam. Pada kecepatan di atas 100 rpm kadungan Al mengalami penurunan. Ketepatan dalam menentukan gradien kecepatan

mempengaruhi kadar Al yang dihasilkan. Oleh karena itu, gradien kecepatan merupakan hal penting dalam proses pengadukan. Pada penelitian ini didapatkan nilai gradien kecepatan yang sesuai yaitu 140/dt, dimana diameter pengadukan yaitu 0,07 m dengan perhitungan pada masing-masing variasi sebagai berikut:

$$Di = \left(\frac{P}{K_T n^3 p} \right)^{1/5}$$

$$0,07m = \left(\frac{P}{2,25 \times 1,667^3 \times 997} \right)^{1/5}$$

$$P = 0.0174 \text{ N.m/det}$$

$$G = \sqrt{\frac{P}{u x V}}$$

$$G = \sqrt{\frac{0.0174 \text{ N. m. m}^2}{0.00089 \text{ N. det} \times 0.001 \text{ m}^3}}$$

$$G = 140/\text{det}$$

$$Gtd = G \times td = 140 \times 45 = 378.000$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan G dan Gtd

td (menit)	Kecepatan pengadukan (rpm)	G (1/det)	Gtd
30	100	140	252.000
45	100	140	378.000
30	120	184	331.200
45	120	184	496.800

Hasil rata-rata karakteristik lumpur harian dengan menggunakan metode asidifikasi pH 2 dan Gtd 378.000 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik lumpur harian

Tanggal	Kadar Air	Kadar Berat kering	Kadar Al (mg/L)	Berat kering (g)	kadar Al dalam berat kering (mg/g)
07-Mar-18	69.2%	31%	403,6	30	4,036
08-Mar-18	59.4%	41%	307,8	30	3,078
09-Mar-18	66.3%	34%	287,2	30	2,872
10-Mar-18	63.7%	36%	332,2	30	3,322
11-Mar-18	68.5%	31%	392,3	30	3,923
12-Mar-18	71.2%	29%	251,6	30	2,516
Rata-rata	66.4%	34%	329,11	30	3,291

Analisis proses koagulasi-flokulasi dengan tawas asli

Air baku diambil selama 3 kali untuk mendapatkan kualitas air yang berbeda. Hasil analisis air baku yang digunakan untuk proses koagulasi-flokulasi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kualitas air baku

	Air Baku I	Air Baku II	Air Baku III
Kekeruhan air baku (NTU)	36	33	18
pH	7,35	7,43	7,47
Kekeruhan awal (efluen prasedimentasi) (NTU)	13	11	10

Tabel 5. Data analisis koagulan tawas asli Air Baku I

Dosis (ppm)	pH awal	pH setelah penambahan koagulan	pH akhir	Kekeruhan (NTU)	Persen removal
35	7,18	6,25	6,46	2,7	79,23%
40	7,19	6,32	6,5	2,4	81,54%
45	7,29	6,3	6,32	2,4	81,54%
50	7,43	6,24	6,25	2,5	80,77%
55	7,50	6,07	6,22	2,6	80,00%
60	7,54	6,06	6,14	2,7	79,23%

Tabel 5 menunjukkan pengaruh koagulan terhadap pH mengalami penurunan setelah penambahan koagulan dan setelah proses koagulasi-flokulasi mengalami kenaikan. pH mengalami penurunan karena adanya H^+ pada proses koagulasi-flokulasi. Dosis optimum tawas asli berada pada rentang 40-45 mg/L dengan kekeruhan awal 13 NTU dan kekeruhan akhir 2,4 NTU.

Tabel 6. Data analisis koagulan tawas asli air baku II

Dosis (ppm)	pH awal	pH setelah penambahan tawas	pH akhir	NTU akhir	Persen removal
35	7,56	7,19	7,24	4,2	61,82%
40	7,74	7,01	7,25	4,1	62,73%
45	7,73	6,86	7,21	4,1	62,73%
50	7,67	7,24	7,25	3,4	69,09%
55	7,66	7,06	7,23	3,8	65,45%
60	7,49	6,93	7,11	5,1	53,64%

Tabel 6 menunjukkan bahwa penambahan koagulan mempengaruhi pH pada air baku. pH air baku mengalami penurunan setelah penambahan tawas asli, namun masih berada pada rentang normal sehingga tidak perlu ditambah kapur. pH mengalami peningkatan setelah proses koagulasi-flokulasi. Dosis optimum tawas asli yaitu 50 mg/L dengan kekeruhan awal 11 NTU dan kekeruhan akhir 3,4 dengan persen removal 69,09 %.

Tabel 7. Data analisis koagulan tawas asli Air Baku III

Dosis (ppm)	pH awal	pH setelah penambahan tawas	pH akhir	NTU akhir	Persen removal
35	7,76	6,3	6,4	3,4	66%
40	7,74	6,16	6,29	3,3	67%
45	7,72	6,16	6,23	3,1	69%
50	7,61	6,13	6,26	3,1	69%
55	7,56	6,7	7,04	3	70%
60	7,47	6,76	6,95	2,6	74%

Tabel 7 menyatakan bahwa koagulan sangat berpengaruh terhadap nilai pH air baku. Nilai pH akan menurun bila ditambah dengan koagulan dan akan mengalami kenaikan kembali setelah proses koagulasi-flokulasi. Dosis tawas optimum berbeda dengan grafik air baku sebelumnya. Dosis tawas berbanding lurus dengan kekeruhan air baku semakin banyak dosis yang diberikan semakin besar penurunan kekeruhan yaitu 74 %.

Analisis proses koagulasi-flokulasi dengan produk *recovery*

Proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan produk *recovery* dengan konsentrasi yang digunakan berdasarkan dosis terendah pada rata-rata kadar Al dalam lumpur harian pada Tabel 3 diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil analisis koagulan produk *recovery* air baku I

Dosis (ppm)	pH Awal	pH setelah penambahan koagulan	pH akhir	NTU akhir	Persen removal
35	7,57	6,87	7,21	2,5	80,77%
40	7,74	6,76	6,95	2,1	83,85%
45	7,59	6,93	6,99	2,1	83,85%
50	7,32	6,68	6,95	2	84,62%
55	7,4	6,95	7,06	2	84,62%
60	7,49	6,83	7,1	2,1	83,85%

Berdasarkan Tabel 8 dengan kekeruhan awal 13 NTU menunjukkan nilai optimum 2 NTU dengan konsentrasi koagulan sebesar 50-55 mg/L. Nilai efisiensi removalnya yaitu 84,62%. Proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan koagulan produk *recovery* mengakibatkan penurunan pH pada sampel namun pada kondisi ini penurunan pH tidak melebihi batas minimum sehingga tidak diperlukan penambahan $Ca(OH)_2$

Tabel 9. Hasil analisis koagulan produk *recovery* Air baku II

Dosis (ppm)	pH awal	pH setelah penambahan produk <i>recovery</i>	pH akhir	NTU akhir	Persen removal
35	7,67	6,4	6,59	1	90,91%
40	7,64	6,41	6,43	1	90,91%
45	7,63	6,3	6,35	0,75	93,18%
50	7,59	6,12	6,23	0,8	92,73%
55	7,5	6,09	6,2	1,5	86,36%
60	7,37	6,24	6,26	1,9	82,73%

Tabel 9 menunjukkan bahwa penambahan koagulan menyebabkan penurunan pada pH. Namun, setelah melalui proses koagulasi-flokulasi nilai pH akan mengalami kenaikan. Kondisi pH air baku III setelah penambahan produk *recovery* tidak mengalami penurunan melebihi batas sehingga tidak diperlukan penambahan Ca(OH)₂. Dosis optimum pada produk *recovery* dengan nilai kekeruhan awal 11 NTU dan kekeruhan akhir 0,75 adalah 45 mg/L.

Tabel 10. Hasil Analisis Koagulan produk *recovery* Air baku III

Dosis (ppm)	pH-1 (pH Awal)	pH-2 (Penambahan Produk <i>recovery</i>)	pH-3 (pH akhir)	NTU Awal	NTU Akhir	Persen Removal
35	7,84	5,59	6,07	6,3	0,9	91%
40	7,75	5,55	6,07	6,28	0,9	91%
45	7,55	5,51	6,09	6,26	0,9	91%
50	7,62	5,31	6,08	6,31	0,8	92%
55	7,56	4,77	6,14	6,36	0,75	92,50%
60	7,51	4,86	6,15	6,45	0,95	90,50%

Dosis optimum produk *recovery* dengan nilai kekeruhan awal 10 NTU dan kekeruhan akhir 0,75 NTU adalah 50 mg/L. Kondisi pH air baku III setelah penambahan koagulan tidak mengalami penurunan yang cukup jauh hingga melewati batas minimum, sehingga tidak diperlukan tambahan kapur untuk menaikkan pH agar reaksi berjalan optimum.

Koagulasi-flokulasi dengan menggunakan koagulan produk *recovery* mengakibatkan penurunan pH hingga karena dosisnya produk *recovery* tidak terlalu tinggi dan kondisi pH tidak berada dibawah batas minimum, sehingga tidak perlu ditambahkan dengan Ca(OH)₂.

Berdasarkan hasil analisa pada proses koagulasi-flokulasi terjadi penurunan pH setelah penambahan koagulan. Hal ini terjadi karena adanya reaksi yang berlangsung sebagai berikut:



Reaksi ini menyebabkan pelepasan ion H⁺ sehingga menyebabkan penurunan pH setelah penambahan koagulan (Fitri, 2012).

Penentuan dosis yang optimum seperti contoh pada Tabel 10 dosis optimumnya adalah 55 mg/L, setelah melebihi dosis tersebut, kekeruhan air meningkat kembali. Hal ini dikarenakan adanya flok yang berlebihan sehingga menyebabkan kenaikan kekeruhan (Sutapa, 2014). Sehingga untuk menentukan dosis optimumnya harus sesuai, tidak boleh kurang ataupun lebih karena hasilnya tidak baik.

Berdasarkan data di atas, kekeruhan akhir setelah proses koagulasi dapat diturunkan dengan menggunakan tawas asli maupun dari produk *recovery* sesuai dengan baku mutu Permenkes No. 492 Tahun 2010 yaitu sebesar 5 NTU.

Analisis efisiensi removal antara tawas asli, produk *recovery*, dan kombinasi keduanya

Tabel 11. Hasil analisa kandungan Fe total pada filtrat lumpur

No	Gtd	pH	Kadar Fe (mg/L)	Berat kering (g)	kadar Al dalam berat kering (mg/g)
1	252.000	3	0,0607	30	0,000607
2	378.000	3	0,3744	30	0,003744
3	331.200	3	0,5264	30	0,005264
4	496.800	3	0,3032	30	0,003032

Tabel 11 menunjukkan kandungan Fe pada filtrat hasil proses *recovery*. Kandungan besi menunjukkan adanya 2FeSO_4 yang merupakan salah satu jenis koagulan. Oleh karena itu, pada proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan produk *recovery* memiliki tingkat penurunan kekeruhan lebih besar dibandingkan dengan tawas biasa.

Tabel 12. Perbandingan hasil pengolahan antara produk *recovery* dengan tawas asli

Dosis(ppm)	Air Baku I		Air Baku II		Air Baku III		
	Produk Recovery(NTU)	Tawas Asli(NTU)	Produk Recovery (NTU)	Tawas Asli(NTU)	Produk Recovery(NTU)	Tawas Asli(NTU)	
35	2.5	2.7	1	4.2	0.9	3.	
40	2.1	2.4	1	4.1	0.9	3.	
45	2.1	2.4	0.75	4.1	0.9	3.	
50	2	2.5	0.8	3.4	0.8	3.	
55	2	2.6	1.5	3.8	0.75		
60	2.1	2.7	1.9	5.1	0.95	2.	

Tabel 12 menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan koagulan dengan menggunakan produk *recovery* lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan tawas asli. Hal ini dapat terjadi karena pada proses asidifikasi logam lain yang terkandung dalam lumpur ikut terlarut seperti besi sehingga menghasilkan 2FeSO_4 . 2FeSO_4 yang merupakan salah satu jenis koagulan, sehingga dapat membantu lebih cepat dan lebih baik dalam penurunan

kekeruhan karena adanya 2 jenis koagulan. Koagulan ferro sulfat membutuhkan alkalinitas dalam bentuk ion hidroksida agar menghasilkan reaksi yang lebih cepat (Masduqi dan Abdu, 2012). Oleh karena itu, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ditambahkan untuk meningkatkan pH dan alkalinitas untuk mempercepat reaksi. Penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ selain untuk meningkatkan pH juga dapat mempercepat proses pembentukan flok karena $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mengikat flok-flok yang sempurna menjadi lebih sempurna sehingga massa flok lebih besar dan cepat mengendap.

Tabel 13 menunjukkan bahwa berdasarkan hasil percobaan kombinasi perbandingan yang paling baik untuk masing- masing variasi air baku yaitu 3:2 (tawas murni: produk *recovery*) untuk air baku I dan II sedangkan air baku III dengan perbandingan 1:1,

Tabel 13. Nilai kekeruhan dan persentase penyisihan kekeruhan berbagai dosis kombinasi

Dosis(ppm)	Air Baku I		Air Baku II		Air Baku III	
	Kekeruhan(NTU)	Persen Removal(%)	Kekeruhan n(NTU)	Persen Removal(%)	Kekeruhan(NTU)	Persen Removal(%)
35	1.4	89.23%	1.1	90.00%	2.3	77.00%
40	1.1	91.54%	0.95	91.36%	1.2	88.00%
45	0.9	93.08%	0.8	92.73%	0.95	90.50%
50	0.9	93.08%	0.75	93.18%	0.85	91.50%
55	0.95	92.69%	0.8	92.73%	0.7	93.00%
60	1	92.31%	0.9	91.82%	1	90.00%

Berdasarkan hasil analisa air baku I memiliki kekeruhan awal lebih tinggi yaitu 13 NTU, Berdasarkan hasil analisa kebutuhan dosis tawas dengan nilai kekeruhan tidak berbanding lurus. Hasil analisis menunjukkan dengan kekeruhan semakin rendah membutuhkan dosis produk *recovery* semakin tinggi. Hal ini terlihat pada air baku III membutuhkan dosis produk *recovery* lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi pada air baku I. Hal ini dikarenakan semakin rendah kekeruhan proses pembentukan flok akan semakin sulit karena TSS yang terkandung lebih sedikit sehingga memerlukan dosis yang

lebih tinggi untuk bisa melakukan proses pengikatan flok yang lebih sempurna. Proses koagulasi dipengaruhi oleh gaya *van der Waals* (Novita, 2001). Gaya ini merupakan gaya tarik-menarik antara dua massa (Masduqi dan Abdu, 2012). Apabila jumlah koagulannya kurang jarak antar partikel akan semakin jauh sehingga gaya tarik-menarik antar partikel tidak berlangsung maksimal dan tidak terjadi ikatan satu sama lain, sehingga penurunan kekeruhan lebih rendah. Sedangkan apabila jumlah koagulan melebihi batas optimum jarak antar partikel menjadi terlalu dekat hal ini membuat penurunan kekeruhan menjadi berkurang, sehingga mengalami kenaikan kekeruhan kembali. Selain itu, air yang memiliki kekeruhan lebih rendah membutuhkan tawas lebih banyak karena penetralan partikel oleh koagulan hanya terjadi apabila konsentrasi cukup kuat untuk proses tarik-menarik antar partikel, sehingga jarak antar partikel menjadi lebih dekat kemudian membentuk agregat yang lebih besar sehingga cepat mengendap.

Hasil Analisa Biaya

Proses *recovery* alum pada penelitian ini menggunakan asam sulfat dengan konsentrasi 4 N. Konsentrasi asam menggunakan 4 N dengan pertimbangan agar tidak terjadi korosi pada saat penggunaan alat *jar-test* pada proses *recovery*. Upaya mendapatkan asam sulfat dengan konsentrasi 4 N diperlukan proses pengenceran dari asam sulfat pekat dengan konsentrasi awal 36 N. Berikut ini perhitungan kebutuhan asam sulfat pekat untuk proses pengenceran dengan volume 500 mL.

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$V_1 \times 36 = 500 \text{ mL} \times 4 \text{ N}$$

$$= 55 \text{ mL}$$

Pada proses *recovery* alum dengan menggunakan berat kering 80 gr memerlukan

asam sulfat 4 N sebanyak 11 mL. Lumpur yang dihasilkan dari unit *clearator* PDAM Karangpilang 3 sebesar 253,649 m³/ hari (Firizqy dkk., 2017).

$$253,649 \text{ m}^3 = 253.649 \text{ L} = 253.649 \text{ kg}$$

Berdasarkan hasil analisis kadar berat kering pada lumpur sebesar 18 % sehingga jumlah berat kering lumpur adalah

$$Bk = 18 \% \times 253.649 \text{ kg} = 45.656,82 \text{ kg}$$

Berat kering lumpur *clearator* sebanyak 45.656 kg sehingga diperlukan asam sulfat dengan konsentrasi 4 N untuk poses *recovery* dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{V_1}{\text{massa}_1} = \frac{V_2}{\text{massa}_2}$$

$$\frac{11 \text{ mL}}{80 \text{ gr}} = \frac{V_2}{45.656.000 \text{ gr}}$$

$$V_2 = \frac{45.656.000 \text{ gr} \times 11 \text{ mL}}{80 \text{ gr}}$$

$$V_2 = 6.277 \text{ L (asam sulfat 4 N)}$$

Sehingga berdasarkan perhitungan, kebutuhan asam sulfat yang diperlukan untuk mengolah produksi lumpur *clearator* dari IPAM Karangpilang 3 sebanyak 6.277 L asam sulfat dengan konsentrasi 4 N.

Kebutuhan asam sulfat 4 N kurang lebih sebanyak 6.277 L. Perhitungan kebutuhan asam sulfat pekat 36 N sebagai berikut:

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

$$V_1 \times 36 = 6.277 \text{ L} \times 4 \text{ N}$$

$$= 697,44 \text{ L}$$

$$B. \text{ Pengolahan lumpur} = (697 \times 97.500)$$

$$= \text{Rp } 68.000.833,-$$

Analisis Biaya dengan Penggunaan Produk Recovery

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa dosis optimum pada proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan produk recovery adalah 50 mg/L dengan produk recovery 159 mL. Produk *recovery* yang dibutuhkan untuk mengolah air baku sebanyak 1 m³ adalah 159 L. Upaya mendapatkan filtrat dengan volume 600 mL berdasarkan percobaan diperlukan asam sulfat 4 N sebanyak 11 mL. Biaya pengolahan dengan volume air baku 1 m³ dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{600 \text{ mL filtrat}}{11 \text{ mL asam sulfat}_1} = \frac{159.000 \text{ mL}}{V}$$

$$V = \frac{159.000 \text{ mL} \times 11 \text{ mL}}{600 \text{ mL}}$$

$$V = 2.915 \text{ mL (asam sulfat 4 N)}$$

Kebutuhan asam sulfat 4 N kurang lebih sebanyak 3.000 mL. Perhitungan kebutuhan asam sulfat pekat 36 N sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_1 \times N_1 &= V_2 \times N_2 \\ V_1 \times 36 &= 3.000 \text{ mL} \times 4 \text{ N} \\ &= 333 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya asam sulfat} = \left(\frac{333 \text{ mL}}{1.000 \text{ mL}} \times 97.500 \right)$$

Biaya pengolahan air baku dengan volume 1 m³ dengan dosis koagulan 50 mg/L adalah Rp 32.500,-

Analisis biaya dengan penggunaan koagulan tawas asli

Dosis tawas asli yang dibutuhkan pada proses koagulasi-flokulasi berdasarkan hasil percobaan adalah 50 mg/L. Konsentrasi tawas yang digunakan adalah 1% atau 10.000 mg/L. Sehingga untuk dosis 50 mg/L dibutuhkan tawas sebanyak 5 mL, sehingga untuk

mengolah air baku 1 m³ diperlukan tawas asli 5 L dengan konsentrasi 1%, sehingga berat tawas yang dibutuhkan 50 gr. Biaya pengolahan dengan volume air baku 1 m³ dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya tawas asli} &= \left(\frac{50 \text{ gr}}{1000 \text{ gr}} \times 17000 / \text{kg} \right) \\ &= \text{Rp } 850,- \end{aligned}$$

Biaya pengolahan air baku dengan volume 1 m³ dengan dosis koagulan 50 mg/L adalah Rp 850,-

Analisis biaya dengan penggunaan kombinasi koagulan

Proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan kombinasi tawas asli dengan produk *recovery* hasil yang optimum didapatkan pada konsentrasi tawas asli 30 mg/L dan produk *recovery* 20 mg/L. Pengolahan air baku dengan volume 1 m³ membutuhkan asam sulfat pekat yang dibutuhkan sebanyak 133 mL dan tawas asli 3L berikut ini perhitungan biaya pengolahan air bakunya.

$$\begin{aligned} \text{Biaya Asam sulfat} &= \left(\frac{133 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \times 97500 \right) \\ &= \text{Rp } 13.000,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya tawas asli} &= \left(\frac{30 \text{ gr}}{1000 \text{ gr}} \times 17000 / \text{kg} \right) \\ &= \text{Rp } 510,- \end{aligned}$$

$$\text{Biaya total} = \text{Rp } 13.000 + \text{Rp } 510$$

$$= \text{Rp } 13.510,-$$

Biaya pengolahan air baku dengan volume 1 m³ dengan dosis kombinasi koagulan 50 mg/L dengan perbandingan konsentrasi 3:2 adalah Rp 13.510,-

Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa biaya penggunaan koagulan dari proses *recovery* lebih mahal dibandingkan dengan menggunakan tawas asli. Namun, kelebihan biaya tersebut dapat dianggap sebagai biaya pengolahan limbah lumpur dari PDAM. Sehingga dapat mengurangi kandungan alum yang terbuang kelingkungan dan PDAM telah melaksanakan produksi bersih dan ikut mengurangi dampak buruk akibat pencemaran lingkungan dari proses produksi.

4. KESIMPULAN

1. Kadar Al maksimum pada proses *recovery* alum dengan metode asidifikasi sebesar 515,5 mg/L dengan pH 2. Gradien kecepatan 378.000, kecepatan pengadukan 100 rpm dan waktu pengadukan selama 45 menit.
2. Produk hasil *recovery* dapat digunakan menjadi koagulan pada proses koagulasi-flokulasi. Pada kombinasi untuk air baku II perbandingan konsentrasi yang paling baik dalam menurunkan kekeruhan yaitu pada perbandingan 3:2 (tawas asli : produk *recovery*). Hasil yang didapatkan yaitu dengan kekeruhan awal 11 NTU didapatkan nilai kekeruhan akhir sebesar 0,75 NTU.
3. Biaya penggunaan koagulan pada proses koagulasi-flokulasi dengan menggunakan produk *recovery* lebih tinggi yaitu Rp.32.500,- untuk menjernihkan 1 m³ air baku, menggunakan tawas asli membutuhkan biaya sebesar Rp.850,- sedangkan biaya dengan menggunakan kombinasi yaitu sebesar Rp.13.510,-. Kelebihan biaya dengan menggunakan produk *recovery* sangat jauh dibandingkan dengan menggunakan tawas asli.

DAFTAR PUSTAKA

- Cundari,Lia dkk. (2016). Pengaruh Waktu Kontak Dan Kecepatan Pengadukan Pada Asidifikasi Sludge Keluaran Water Treatment.Jurnal Teknik Kimia.19-27.
- Firizqy, Maulida Ilmi. dan Serly, Oktaviani. (2017). Studi pengelolaan Lumpur Karangpilang III PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. Laporan Kerja Praktek.Departemen Teknik Lingkungan.
- Fitri, Hariana. (2012). Dampak Pembuangan Lumpur Perusahaan Daerah Air Minum Kota Pontianak Terhadap Kualitas Air Sungai Kapuas, Pontianak: Jurusan Teknik Lingkungan.
- Irfan. (2007). Recovery Alum dari Lumpur Accelator IPAM Gunung Panggilun Padang. Laporan Tugas Akhir. Padang:Jurusan Teknik Lingkungan.
- Masduqi, Ali dan Abdu F., Assomadi. (2012). Operasi dan Proses Pengolahan Air. Surabaya:ITS Press.
- Novita,Elida. (2001). Optimalisasi Proses Koagulasi Flokulasi pada Limbah Cair yang mengandung melanoidin. Ilmu Dasar I. Vol 2, 61-67.
- Ruri A,R, Boavantura. (2000). Alumunium Recovery from Water Treatment Sludge. Water supply and water quality. Internasional Conference.
- Sutapa, I, D, (2014), Optimasi Dosis Alumunium sulfat dengan Poli Alumunium Clorida untuk Pengolahan Air Sungai Tanjung Krueng Raya, Jurnal Teknik Hidraulik, 29-42.

Wahyudin. (2001). Uji kelayakan Recovery Alum pada Lumpur hasil proses koagulasi –Flokuasi di IPAM Ngagel III Surabaya. Laporan Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan.