

OPTIMALISASI DOSIS KOAGULAN ALUMINIUM SULFAT DAN POLI-ALUMINIUM KLORIDA (PAC) UNTUK PENGOLAHAN AIR SUNGAI TANJUNG DAN KRUENG RAYA

OPTIMALISATION OF ALUMINIUM SULPHATE AND POLY-ALUMINIUM CHLORIDE (PAC) TO TREAT WATER FROM TANJUNG AND KREUNG RAYA RIVERS

Ignasius D.A. Sutapa

Pusat Penelitian Limnologi - LIPI

Email : ignasdas@yahoo.co.id

Diterima: 16 April 2013; Disetujui: 22 Mei 2014

ABSTRAK

Aceh Besar merupakan salah satu kabupaten yang terkena bencana alam gempa bumi dan tsunami di provinsi Nangroe Aceh Darussalam. Kualitas air permukaan dapat tercemar karena bencana alam tersebut. Sungai Krueng Raya dan Sungai Tanjung merupakan sumber air yang digunakan oleh masyarakat Kabupaten Aceh Besar. Tujuan penelitian ini adalah diperolehnya informasi kriteria mutu dan penetapan kelas air Sungai Tanjung dan Krueng Raya, serta jenis dan konsentrasi koagulan yang optimal untuk mengolah air sungai. Hasil penelitian didapat bahwa Air Sungai Krueng Raya dan Sungai Tanjung mengandung kekeruhan yang tinggi sehingga terklasifikasi dalam air kelas II berdasarkan PP No. 81/2001. Percobaan pengolahan telah dilakukan pada dua sungai tersebut dengan cara koagulasi-flokulasi menggunakan alat jar test untuk mendapatkan dosis koagulan optimum. Dosis optimum yang diperoleh adalah aluminium sulfat 35 ppm dengan efisiensi sebesar 66,1% dengan biaya bahan baku sebesar Rp 140,00 per m³ untuk pengolahan air Sungai Tanjung. Sedangkan koagulan optimum air Sungai Krueng Raya adalah aluminium sulfat 30 ppm dengan efisiensi sebesar 63,9% dengan biaya bahan baku sebesar Rp 120,00 per m³. Setelah koagulasi-flokulasi diperoleh penurunan kekeruhan air yang memenuhi syarat untuk diolah lebih lanjut menjadi air minum.

Kata kunci : Koagulan, waktu sedimentasi, efisiensi, aluminium sulfat, PAC

ABSTRACT

Aceh Besar is one of the districts affected by the earthquake and tsunami in NAD province. The quality of surface water can be contaminated due to the natural disaster. Krueng Raya River and Tanjung River is the source of water used by Aceh Besar people. The purpose of this study is to obtain information about water quality and determination of Krueng Raya and Tanjung river water classes, and to obtain the optimal type and dosage of coagulant for water treatment. The results show that Krueng Raya and Tanjung river water contain high turbidity and are classified in class II under PP 81/2001. Experiments have been performed on the two rivers by coagulation-flocculation tests using jar test tool to get the optimum coagulant dose. The optimum dose of aluminum sulfate obtained was 35 ppm with efficiency of 66.1% and the cost of raw materials amounting to Rp 140.00 per m³ for the Tanjung River water treatment. While the optimum coagulant for Krueng Raya river water is 30 ppm aluminum sulphate with efficiency of 63.9% with the raw material costs of Rp. 120.00 per m³. After coagulation-flocculation process, water turbidity decrease and eligible for further processing into drinking water.

Keyword: Coagulant, time of sedimentation, efficiency, aluminum sulphate, PAC

PENDAHULUAN

Provinsi Nangroe Aceh Darussalam telah mengalami bencana alam, gempa dan tsunami. Sejumlah 278.961 rumah rusak dan hancur.

Pusat kerusakan dan kehancuran terjadi pada dua hingga tiga mil di zona sepanjang pantai barat; Kota Banda Aceh, Aceh Jaya dan Aceh Besar. Kerusakan tersebut dikhawatirkan dapat membuat sumber air baku tercemar.

Pemantauan yang telah dilakukan oleh Kementerian Lingkungan Hidup terhadap kualitas air permukaan di Banda Aceh dengan mengambil sampel air sumur, air tanah, air sungai, air laut menunjukkan bahwa kondisi air berwarna coklat sampai kehitaman, keruh, dan berbau. Adapun pencemaran ini terjadi akibat (1) Kontaminasi air laut ke dalam air tanah, (2) Kontaminasi jenazah manusia dan bangkai hewan di badan air, serta aliran air hujan yang terkontaminasi jenazah manusia dan bangkai hewan, (3) Genangan sisa air tsunami, (4) Kontaminasi mikroorganisme patogen dan infeksius dalam air tanah dan air sumur dan (5) Terlepasnya material limbah dari tangki penimbunan bahan-bahan yang bersifat limbah berbahaya dan beracun (B3) (Kementerian Lingkungan Hidup RI. 2005).

Kabupaten Aceh Besar memiliki wilayah dengan luas 2.902,56 km² dan jumlah penduduk 351 418 jiwa (BPS Aceh 2011). Sungai Krueng Raya dan Sungai Tanjung merupakan sumber air yang digunakan oleh masyarakat sekitar untuk kehidupan sehari-hari. Dimulai dari sumber air minum sampai diggunakan sebagai tempat pencucian baju dan MCK. Hal ini karena didukung oleh posisi sungai yang dekat dengan masyarakat. Air Sungai Tanjung dan Krueng Raya terlihat tidak terlalu keruh/tingkat kekeruhan sedang dan berdasarkan informasi dari warga, volume air relatif konstan sepanjang tahun. Kedua sungai tersebut memiliki kelayakan air baku dari segi kuantitas volume air dan kontinuitas sepanjang tahun. Namun dari segi kualitas perlu dilakukan pengkajian untuk mengetahui kelayakannya.

Pemerintah telah mengatur kriteria mutu air dan penetapan kelas air dalam PP No. 82/2001 (Peraturan Pemerintah Nomor: 82 Tahun 2001). Kriteria mutu air dibagi menjadi 4 (empat) kelas dan masing-masing kelas memiliki peruntukan masing-masing. Kelas I adalah air yang peruntukannya sebagai air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Kelas II digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan air untuk mengairi pertanaman. Kelas III digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman. Kelas IV digunakan untuk mengairi, pertanaman dan atau peruntukan lainnya.

Informasi mengenai kualitas air Sungai Tanjung dan Krueng Raya pasca bencana sangat minim. Padahal sungai tersebut merupakan sumber air yang digunakan setiap hari oleh

masyarakat. Oleh karena itu, perlu didapatkan informasi mengenai kualitas air sungai tersebut dan upaya mengolahnya agar layak digunakan sebagai air baku pengolahan air minum.

Pengolahan air secara koagulasi merupakan metode yang populer dipakai untuk menurunkan kekeruhan air. Dalam proses pengolahan air bersih secara umum, tahap koagulasi flokulasi merupakan tahap penting karena mempengaruhi efektivitas tahap pengolahan air berikutnya (Xu, et al. 2006; Zhan, et al. 2004).

Penggunaan koagulan aluminium sulfat (alum) maupun PAC sudah sangat umum digunakan oleh instalasi pengolahan air minum (IPAM). Hasil yang diperoleh cukup bervariasi tergantung dari karakteristik air bakunya. Oleh karena itu, diperlukan informasi mengenai kualitas sumber air baku, serta penelitian dalam menentukan tipe dan konsentrasi koagulan yang optimal untuk mengolah air sungai tersebut sehingga dapat diolah lebih lanjut menjadi air minum yang memenuhi syarat.

Maksud dari penelitian memperoleh informasi kualitas air Sungai Tanjung dan Krueng Raya setelah terkena bencana tsunami serta jenis dan dosis koagulan untuk mengolah air sungai dengan melakukan percobaan koagulasi terhadap air sungai Tanjung dan Krueng Raya menggunakan alat jar test dan koagulan aluminium sulfat dan poli-aluminium klorida (PAC) sehingga diperoleh kualitas air yang memenuhi persyaratan. Tujuan penelitian ini adalah sebagai bahan masukan bagi pemanfaatan air sungai Tanjung dan Krueng Raya untuk sumber air baku air minum.

Penelitian dilaksanakan pada Sungai Tanjung dan Krueng Raya, Kabupaten Aceh Besar. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada alasan – alasan sebagai berikut :

1. Sungai tersebut merupakan bagian dari sungai yang pernah diteliti dari segi kelayakan air sebelumnya.
2. Dua sungai tersebut merupakan sungai yang potensial untuk dijadikan sebagai sumber air baku yang akan diolah menjadi air bersih.
3. Lokasi penelitian yang strategis, mudah dijangkau dan baik dari segi keamanan.
4. Sungai memiliki debit air yang mencukupi untuk dijadikan sebagai sumber air masyarakat.

KAJIAN PUSTAKA

Air Sungai Krueng Raya dan Sungai Tanjung

Air sungai merupakan salah satu sumber air baku bagi masyarakat. Air sungai mempunyai kualitas yang baik karena langsung keluar dari mata air di pegunungan. Namun, semakin jauh dari sumbernya semakin besar tingkat pencemaran pada air sungai, karena semakin terakumulasinya limbah dari hulu ke hilir (Wiwoho 2005).

Pencemaran sungai dapat berasal dari (1) limbah organik dari manusia, hewan dan tanaman, (2) pertambahan senyawa kimia yang berasal dari aktivitas industri yang membuang limbahnya ke perairan dan (3) tingginya kandungan sedimen yang berasal dari erosi, kegiatan pertanian, penambangan, konstruksi, pembukaan lahan dan aktivitas lainnya. Ketiga hal tersebut merupakan dampak dari meningkatnya populasi manusia, kemiskinan dan industrialisasi (Hendrawan 2005).

Sungai Krueng Raya dan Sungai Tanjung merupakan sungai potensial dijadikan sebagai sumber air baku untuk Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) bagi masyarakat. Lokasi IPAM strategis dan mudah dijangkau sehingga ekonomis dari segi biaya karena tidak memerlukan biaya distribusi untuk sampai ke masyarakat. Namun, buruknya sanitasi pada daerah aliran sungai di negara berkembang membuat minimnya akses air minum yang aman (Jensen, et al. 2004; Haruna, et al. 2005; Nanan, et al. 2003). Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan kualitas air. Didefinisikan pengelolaan kualitas air menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 adalah upaya pemeliharaan air sehingga tercapai kualitas air yang diinginkan sesuai peruntukannya untuk menjadi agar kualitas air tetap dalam kondisi alamiahnya

Koagulan

Koagulasi adalah proses adsorpsi oleh koagulan terhadap partikel-partikel koloid sehingga menyebabkan destabilisasi partikel. Koagulan biasa dibubuhkan ke dalam air yang dikoagulasi yang bertujuan untuk pembentukan flok dan untuk mencapai sifat spesifik flok yang diinginkan sehingga mudah mengendap. Koagulan adalah zat kimia yang menyebabkan destabilisasi muatan negatif partikel di dalam suspensi. Zat ini merupakan donor muatan positif yang digunakan untuk mendestabilisasi muatan negatif partikel. Dalam pengolahan air sering dipakai garam aluminium,

Al (III) atau garam besi (II) dan besi (III) (Aminzadeh, et al. 2007).

Koagulan yang umum digunakan pada pengolahan air antara lain: Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$), Sodium Aluminat ($NaAlO_2$ atau $Na_2Al_2O_4$), *Polyaluminium Chloride* (PAC), ferri sulfat ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$), ferri klorida ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), dan ferro sulfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) (Sugiarto 2006).

Aluminium sulfat merupakan bahan koagulan yang paling banyak digunakan. *Poly-Aluminium Chloride* (PAC) merupakan koagulan alternatif dari aluminium sulfat. Polialuminium klorida merupakan salah satu koagulan polimer utama yang digunakan secara luas pada pengolahan air dan air limbah. PAC merupakan PAC efektif bekerja pada rentang pH yang cukup luas yaitu pH 6 sampai dengan 9 (Karamah et al. 2008).

Koagulasi Flokuasi sebagai Metode Pengolahan Air Sungai

Prinsip pengendapan polutan berupa partikel koloid adalah berdasarkan proses koagulasi dan flokulasi. Koagulasi adalah proses yang bersifat kimia yang bertujuan menurunkan kekeruhan dan material pada air yang kebanyakan merupakan partikel - partikel koloidal (berukuran 1-200 milimikron) seperti alga, bakteri, zat organik anorganik dan partikel lempung (Lin 2007).

Koloid adalah sekelompok atom atau molekul berukuran sangat kecil yang tidak dapat diendapkan secara gravitasi namun tetap terlarut dalam air. Karena terlarut, koloid bersifat stabil. Stabilitas ini disebabkan oleh terjadinya tolak - menolak diantara partikel koloid (Sincero 2003).

Secara alami, partikel koloid dalam air memiliki muatan yang sama. Akibatnya partikel koloid akan tolak menolak sehingga tidak terjadi pembentukan partikel besar dalam air. Koagulasi bekerja dengan memberikan ion berlawanan muatan sehingga menurunkan gaya tolak menolak dan terjadi tarik menarik antara partikel koloid. Meningkatnya gaya tarik menarik antara partikel koloid membuat partikel menjadi lebih besar dan mengendap di dasar air (Aminzadeh, et al. 2007). Endapan tersebut kemudian menjebak partikel koloid yang masih berada dalam air menjadi flok. Tumbukan interpartikel ini dicapai melalui proses flokulasi (Zhan, et al. 2004)

Flokulasi adalah proses lanjutan dan koagulasi. Terbentuknya flok-flok yang baik biasanya diawali oleh proses koagulasi yang efisien. Kualitas flok-flok tersebut akan

mempengaruhi cepat atau lambatnya partikel-partikel mengendap dalam bak sedimentasi. Pada tahap ini akan dilihat tingkat efisiensi flokulasi dan waktu sedimentasi yang diperlukan sesuai dengan karakteristik air baku yang masuk dalam tahap sebelumnya. Pada proses flokulasi terjadi penggabungan partikel yang tidak stabil sehingga membentuk flok yang lebih besar dan lebih cepat dapat dipisahkan (Teng 2000).

Tiga tahap penting yang terjadi dalam proses koagulasi-flokulasi yaitu pembentukan spesies, destabilisasi partikel dan tumbukan interpartikel (Haines 2003; Geng 2005). Pembentukan spesies terjadi saat koagulan melalui serangkaian reaksi hidrolisis ketika koagulan ditambahkan ke dalam air. Pembentukan spesies pada alum sedikit berbeda dengan PAC. Pada alum, hanya spesies monomer saja yang terbentuk yaitu Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)^{2+}$, dan $Al(OH)^{4-}$. Sementara pada PAC, selain monomer, kation polimer juga terbentuk yang didominasi oleh $Al_13O_4(OH)_{24}^{7+}$ (Geng 2005).

Persyaratan Kualitas Air Minum

Air sungai yang memenuhi kriteria kualitas air kelas I dapat digunakan sebagai air baku IPAM untuk diolah dengan teknologi tertentu sehingga memenuhi persyaratan air minum. Persyaratan air minum diatur melalui Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang syarat-syarat dari Pengawasan Kualitas Air Minum (KEPMENKES RI No 907 Tahun 2002).

METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan melakukan berbagai pengukuran dan percobaan, baik di lapangan maupun di laboratorium.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 liter air Sungai Tanjung, 10 liter air Sungai Krueng Raya, aluminium sulfat, *Poly-Aluminium Chloride* (PAC), media bakteri mEndo, media bakteri mFc, media laktosa cair, endo agar, *Nitrit Ver 3 Nitrit Reagent Powder Pillows* dan kaporit ($Ca(ClO)_2$)

Alat "Jar Test" dengan kapasitas 6 gelas piala masing-masing 500 ml dilengkapi pengaduk dan pemutar dengan tenaga listrik (Gambar 1).

Tahapan Kegiatan dan Metode yang Digunakan

Secara umum tahapan kegiatan dan metode yang digunakan dalam penelitian dapat diterangkan sebagai berikut:

Pemilihan Lokasi Penelitian

Pemilihan lokasi penelitian dilakukan melalui survey lapangan, terutama di Daerah Aliran Sungai Kabupaten Aceh Besar. Dari hasil survei tersebut dipilih lokasi yang potensial sebagai sumber air baku air minum.

Pengambilan Contoh Air Sungai

Pengambilan contoh air sungai sebelum proses pengolahan dilakukan untuk mendapatkan contoh air untuk diperiksa kualitasnya. Contoh air dicuplik sebanyak 10 liter pada pagi hari. Pengambilan contoh air dilaksanakan sesuai metode standar yang berlaku (BSN, 2008, SNI 6989.57:2008).

Pemeriksaan Kualitas Awal Air

Analisa kualitas awal air dilakukan dengan pemeriksaan kualitas air sebelum diolah dan penentuan kelas air sungai. Pengujian kualitas air dilakukan di Laboratorium Hidrokimia – Pusat Penelitian Limnologi – LIPI, hal ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaiannya dengan pemanfaatan sumber air. Penentuan kelas air sungai berdasarkan perbandingan antara parameter air sungai dengan baku mutu air bersih PP 82/2001.

Pengolahan Air Sungai

Pengolahan air sungai dapat dilakukan dengan proses Flokulasi – koagulasi. Dilakukan analisis Jar tes untuk mendapatkan dosis optimum koagulan yang digunakan.

Pemeriksaan Kualitas Akhir Air

Analisa kualitas akhir air dilakukan pada air olahan dari Jar Test. Data ini digunakan untuk menenrukan dosis optimum koagulan dalam percobaan Jar Test.

Analisis Kualitas Air Baku

Dalam analisis kualitas air baku, diawali dengan melakukan observasi langsung melihat karakteristik air dari masing-masing sungai. Parameter yang diperiksa meliputi parameter fisik, kimia dan mikrobiologi. Parameter fisik air sungai meliputi : suhu, warna, rasa, kekeruhan dengan menggunakan turbidimetri, termometer dan colorimeter.

Pemeriksaan kimia air meliputi: pengukuran pH, kadar sulfat, kadar ammonia, nitrat, nitrit, sianida, fluorida dan phenol dengan metode spektrofotometri.

Parameter mikrobiologi yang diperiksa adalah kandungan bakteri yang biasa dikelompokkan sebagai bakteri indikator pencemar yang meliputi total E. Coli dan Coliform dengan metode Colony count.

Percobaan Koagulasi dengan Alat Jar Test

Jar test merupakan metode standar yang digunakan untuk menguji proses koagulasi. Informasi yang didapat dengan melakukan jar test antara lain dosis optimum penambahan koagulan, lama pengendapan serta volume endapan yang terbentuk. Jar test sebaiknya dilakukan setiap kali terjadi perubahan keadaan air baik oleh perubahan musim maupun sebab lain. Jar test terdiri dari enam buah batang pengaduk yang masing – masing mengaduk satu buah gelas dengan kapasitas satu liter. Satu buah gelas berfungsi sebagai kontrol dan kondisi operasi dapat bervariasi diantara lima gelas yang tersisa. Volume gelas adalah 500 ml.

Penggunaan sebuah pengukuran RPM di bagian atas petangkat jar test ini berperan sebagai pengontrol keseragaman kecepatan pencampuran pada keenam gelas tersebut. Hasil dari uji ini menjadi acuan dalam pemberian dosis koagulan pada proses koagulasi. Percobaan dilakukan dengan dua perlakuan utama yaitu : menggunakan bahan koagulan aluminium sulfat dan poly- aluminium chloride (PAC). Tujuan perlakuan ini adalah mencari bahan koagulan yang lebih efisien untuk penjernihan air di sungai yang diteliti.

Penentuan Waktu Sedimentasi Alumunium Sulfat

Penentuan waktu sedimentasi dilakukan dengan melakukan pengolahan air pada berbagai tingkat kekeruhan yang diberi koagulan aluminium sulfat. Penentuan dilakukan dengan menggunakan tiga tingkat kekeruhan yaitu 9,4 NTU, 15,1 NTU dan 30 NTU. Sedangkan

waktu pengamatan diukur pada menit ke-0, 1, 3, 5, 7, 9 dan 30 setelah diaduk cepat selama 2 menit dan diaduk lambat selama 10 menit.

Jenis Koagulan

Dua jenis koagulan utama yang akan dikaji adalah Aluminium sulfat (Al₂(SO₄)₃) dan Poly-Aluminium Chloride (PAC). Kedua jenis koagulan tersebut paling banyak dipakai dan mudah diperoleh di pasar. Bahan bantu koagulan akan dipakai apabila tingkat efisiensi koagulasi terlalu rendah (<50 %). Proses koagulasi bisa terhambat jika tingkat kekeruhan terlalu rendah atau terlalu tinggi. Oleh karena itu perlu ditemukan batas optimal pemakaian koagulan pada kondisi kekeruhan air baku yang berbeda.

Penentuan Koagulan Optimum

Penentuan koagulan optimum merupakan kombinasi dari dosis koagulan terendah, efisiensi pengurangan kekeruhan tertinggi dan perhitungan segi ekonomi. Biaya koagulan ditentukan dari konsentrasi optimum koagulan yang digunakan terhadap air sungai.

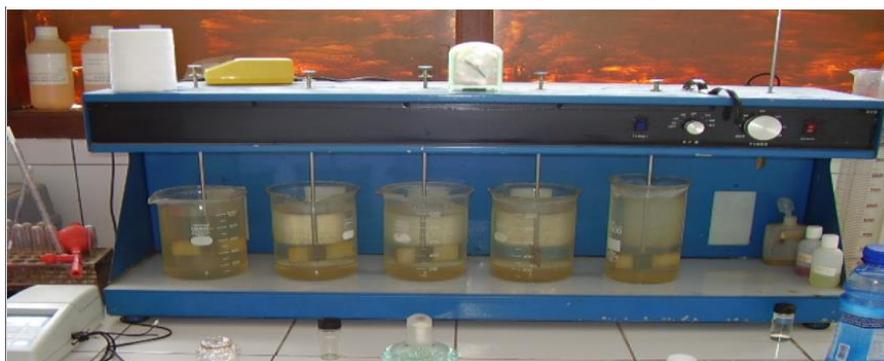
Perhitungan Efisiensi Proses Koagulasi-Flokulasi

Untuk mengetahui sejauh mana tingkat efisiensi proses koagulasi- flokulasi yang dapat menjadi indikator kinerja instalasi pengolahan air minim, maka dapat dihitung nilai tersebut dengan membandingkan kekeruhan air sebelum dan sesudah proses koagulasi menggunakan formula 1 berikut :

$$E = [(T0 - T1)/T0] * 100 \tag{1}$$

Keterangan.

- E : efisiensi proses koagulasi-flokulasi (%)
- T0 : tingkat kekeruhan air baku
- T1 : tingkat kekeruhan air olahan



Gambar 1 Alat Jar Test Koagulasi

Analisis Kualitas Air Olahan

Analisa kualitas air olahan, dilakukan dengan pemeriksaan parameter fisik yang meliputi: warna, rasa, kekeruhan dari air yang telah diolah tadi dan dibandingkan dengan kriteria kualitas air kelas I dari PP 82/2001.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Observasi Lokasi Sungai Krueng Raya dan Sungai Tanjung

Dilakukan observasi langsung dan pengambilan air sungai untuk mendapat informasi lebih lanjut di laboratorium untuk melakukan analisis secara fisik, kimia dan mikrobiologis.

Lokasi kedua sungai dekat dengan masyarakat. Volume air relatif konstan setiap tahun. Kedua hal tersebut mendukung sungai untuk dijadikan sebagai sumber air karena tidak perlu distribusi air yang jauh dan volume air yang tercukupi sepanjang tahun.

Hasil pemeriksaan visual Sungai Krueng raya antara lain memiliki warna air cokelat cerah, terlihat tidak keruh, berada di dekat pemukiman penduduk, hulu sungai berupa hutan lebat, sering terdapat aktivitas MCK oleh penduduk di badan sungai dan bermuara ke laut (Gambar 2).

Sedangkan observasi pada Sungai Tanjung adalah air sungai warna air cokelat terang, terlihat tidak keruh, berada cukup jauh dari pemukiman warga, jarang terdapat aktivitas MCK di badan sungai dan bermuara ke laut (Gambar 3).



Gambar 2 Dokumentasi Sungai Krueng Raya



Gambar 3 Dokumentasi Sungai Tanjung

Hasil pemeriksaan mikrobiologis dan kimia memiliki kualitas sesuai dengan baku mutu sumber air kelas I. Kualitas mikrobiologis air sungai terlihat perbedaan pada jumlah *coliform* dikedua sungai. Hal ini disebabkan oleh perbedaan penggunaan dari sungai tersebut. Tinggi populasi bakteri disebabkan aktivitas masyarakat di sekitar sungai karena jumlah bakteri *E. Coli* sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia (Rompre *et al*, 2002). Sungai Krueng Raya lebih ramai digunakan oleh penduduk dibandingkan Sungai Tanjung. Jumlah Coliform pada kedua sungai memiliki nilai yang sama. Hal ini dapat disebabkan oleh akumulasi dari proses pembuangan limbah cair yang dimulai dari hulu (Wiwoho 2005).

Parameter fisik air sungai Krueng Raya dan Tanjung memiliki nilai terklasifikasi kelas II. Warna air sungai Krueng Raya dan Tanjung berturut-turut adalah 25 dan 19 PtCo. Lebih tinggi dibandingkan baku mutu kelas I yaitu 15 PtCo unit. Kekeruhan Air Sungai pun lebih dari baku mutu air kelas I yaitu berturut-turut adalah 30 NTU untuk Sungai Krueng Raya dan 25 NTU untuk Sungai Tanjung. Meskipun demikian air kedua sungai ini masih dapat dipergunakan sebagai air baku untuk diolah menjadi air minum dengan menggunakan koagulan secara optimal (Tabel 1).

Penentuan Waktu Sedimentasi Aluminium Sulfat

Waktu sedimentasi adalah waktu yang diperlukan agar flok yang telah terbentuk dapat mengendap. Penentuan waktu sedimentasi dapat dilihat pada Gambar 4 hingga 6.

Tabel 1 Hasil Pengukuran Kualitas Air Sungai Krueng Raya dan Sungai Tanjung sebelum perlakuan

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air PP 82/2001			Kualitas Air Sungai	
			Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Sungai Krueng Raya	Sungai Tanjung
Parameter Fisik							
1	Warna	PtCo unit	15	50	100	25	19
2	Bau	-	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau
3	Rasa	-	Tak berasa	Tak berasa	-	Tak berasa	Tak berasa
4	Kekeruhan	NTU	5	5	-	25	30
7	Temperatur	C	Suhu udara (deviasi 3)	Suhu udara (deviasi 3)	Suhu udara (deviasi 3)	26,2	27,1
Parameter Kimia							
8	pH	-	6-9	6-9	6-9	6,02	5,8
7	Ammonia (NH ₃ -N)	mg/l	0.5	(-)	(-)	0.01	0.03
8	Nitrat (NO ₃ -N)	mg/l	10	10	20	0.270	0.216
9	Nitrit (NO ₂ -N)	mg/l	0.06	0.06	0.06	0.046	0.032
10	Sulfat (SO ₄)	mg/l	400	(-)	(-)	52.21	46.01
11	Sianida (CN)	mg/l	0.02	0.02	0.02	-	-
11	Fluorida	mg/l	0.5	1,5	1,5	0.11	-
12	Phenol	mg/l	1	1	1	-	-
Parameter Mikrobiologi							
13	<i>E. Coli</i>	Col/100 ml	100	1000	2000	95	75
14	<i>Coliform</i>	Col/100 ml	1000	5000	10000	300	300

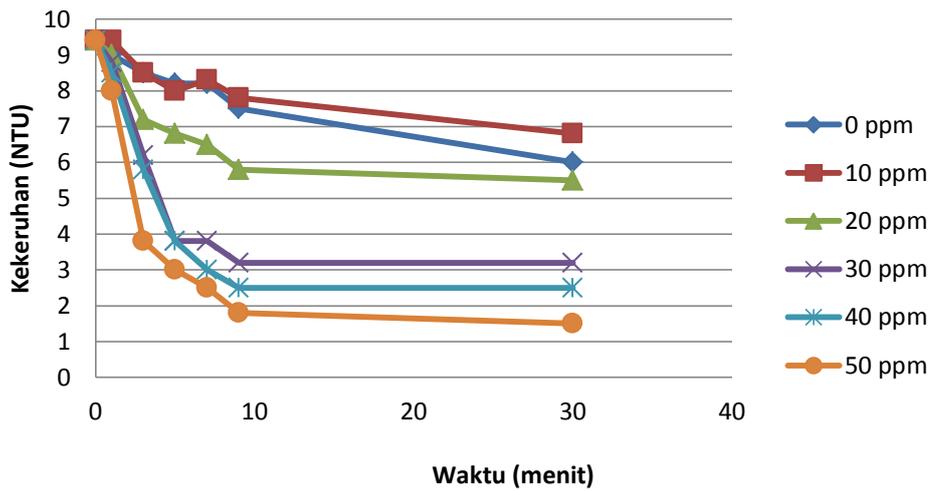
Baku mutu air bersih berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001

Kekeruhan air baku selanjutnya yang digunakan adalah 15,1 NTU (Gambar 5). Semua perlakuan koagulan efektif menurunkan kekeruhan air kecuali koagulan 10 ppm. Pengurangan tingkat kekeruhan tertinggi pada konsentrasi 50 ppm sebanyak 12,6 NTU. Pemberian koagulan 10 ppm tidak lebih efektif daripada kontrol karena mengurangi kekeruhan sebanyak 7,1 NTU. Terlihat dengan lebih keruhnya pemberian 10 ppm (8 NTU) dari pada 0 ppm (7,5 NTU). Pemberian koagulan konsentrasi 30 ppm, 40 ppm dan 50 ppm dapat menurunkan kekeruhan air baku secara signifikan sebanyak 50% saat menit pertama. Tingkat kekeruhan pada menit selanjutnya cenderung tetap.

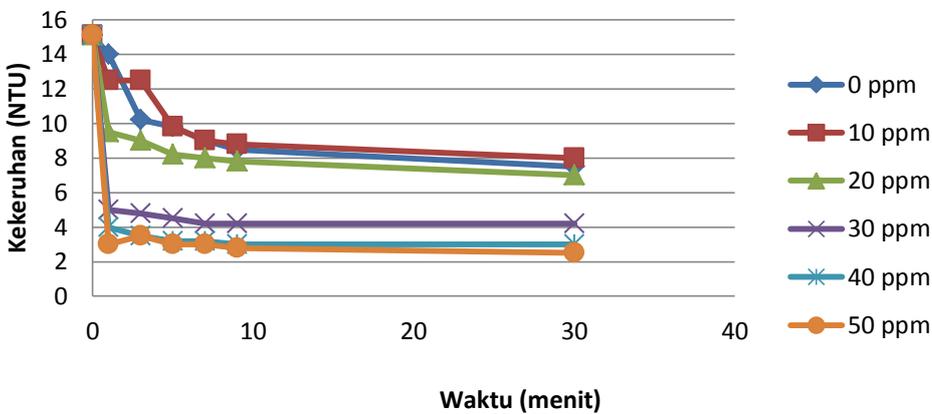
Berdasarkan gambar 6, pada air baku tingkat kekeruhan 30 NTU. Penurunan

kekeruhan sangat nyata sejak menit pertama sedimentasi. Setelah itu, tingkat kekeruhan cenderung tetap. Konsentrasi koagulan 30 ppm, 40 ppm dan 50 ppm memiliki tingkat kekeruhan yang sama dari menit pertama hingga menit ke-30 yaitu 3 NTU atau mengurangi sebanyak 27 NTU. Sedangkan untuk koagulan 0 ppm, 10 ppm dan 20 ppm berturut-turut mengurangi sebanyak 21 NTU, 22,5 NTU dan 26,5 NTU.

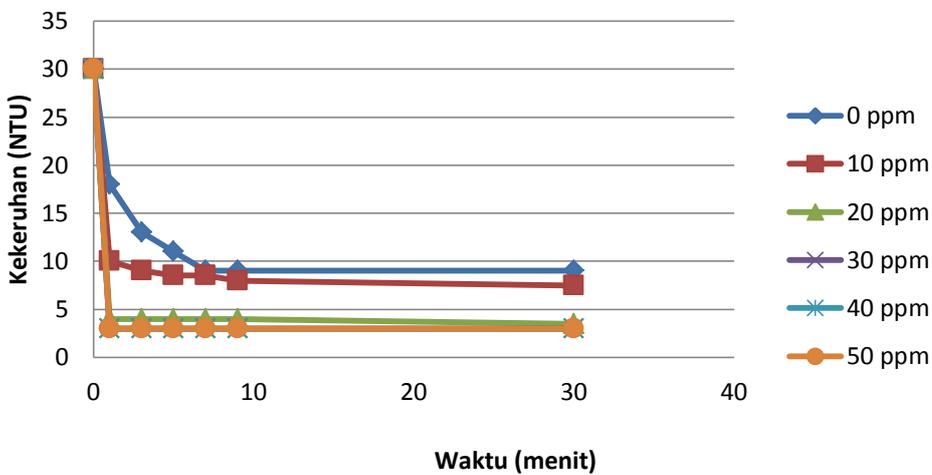
Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kekeruhan air baku mempengaruhi waktu sedimentasi. Pada tingkat kekeruhan 9,4 NTU waktu optimum sedimentasi adalah lima menit, dan pada air baku yang kekeruhannya diatas 15 NTU (15,1 NTU dan 30 NTU) waktu sedimentasi lebih cepat yaitu hanya satu menit.



Gambar 4 Hubungan antara kekeruhan dan waktu sedimentasi pada air baku dengan kekeruhan awal 9,4 NTU dalam berbagai tingkat konsentrasi koagulan



Gambar 5 Hubungan antara kekeruhan dan waktu sedimentasi pada air baku dengan kekeruhan awal 15,1 NTU dalam berbagai tingkat konsentrasi koagulan



Gambar 6 Hubungan antara kekeruhan dan waktu sedimentasi pada air baku dengan kekeruhan awal 30 NTU dalam berbagai tingkat konsentrasi koagulan

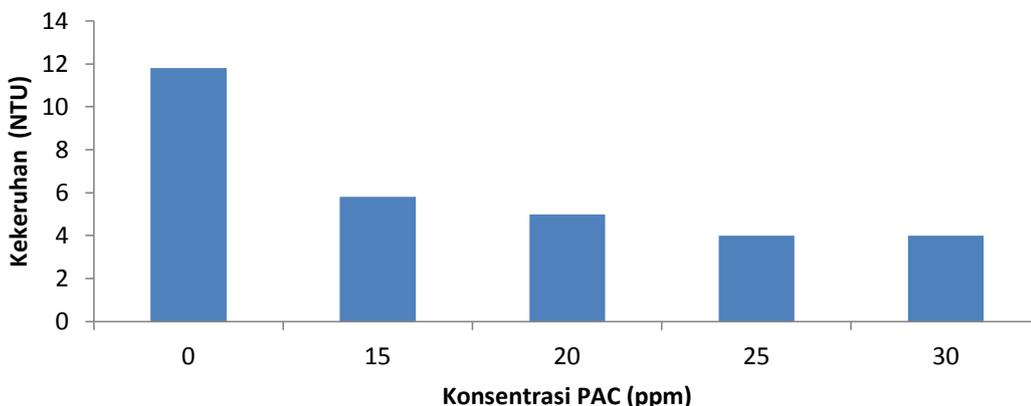
Analisis Jar Test

Hasil analisis jar test dapat dilihat pada gambar 7 dan 8. Gambar 7 menunjukkan hasil kerja dari koagulan PAC terhadap kekeruhan air di Sungai Tanjung. Penggunaan koagulan PAC tersebar pada konsentrasi 15 ppm, 20 ppm, 25 ppm dan 30 ppm. Hasil penurunan tingkat kekeruhan dari kekeruhan awal (11,8 NTU) berturut-turut adalah 5,8 NTU, 5 NTU, 4 NTU dan 4 NTU. Konsentrasi 25 dan 30 ppm memiliki tingkat kekeruhan yang sama.

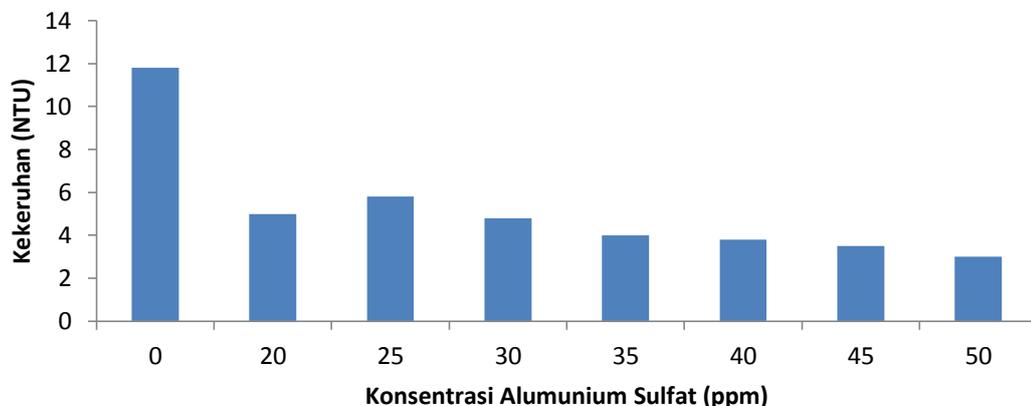
Hasil analisis jar test koagulan aluminium sulfat terhadap kekeruhan air di Sungai Tanjung dapat dilihat pada tabel 8. Hasil analisis terlihat semua konsentrasi koagulan dapat menurunkan kekeruhan hingga 50%. Konsentrasi koagulan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok berdasarkan tingkat akhir kekeruhan air.

Konsentrasi 20 ppm, 25 ppm dan 30 ppm menurunkan kekeruhan menjadi 5 NTU. Konsentrasi 35 ppm, 40 ppm dan 45 ppm menurunkan kekeruhan menjadi 4 NTU. Konsentrasi 50 ppm menurunkan kekeruhan menjadi 3 NTU. Berdasarkan hal tersebut dapat dilakukan pemilihan konsentrasi koagulan Aluminium sulfat 20 ppm, 35 ppm dan 50 ppm.

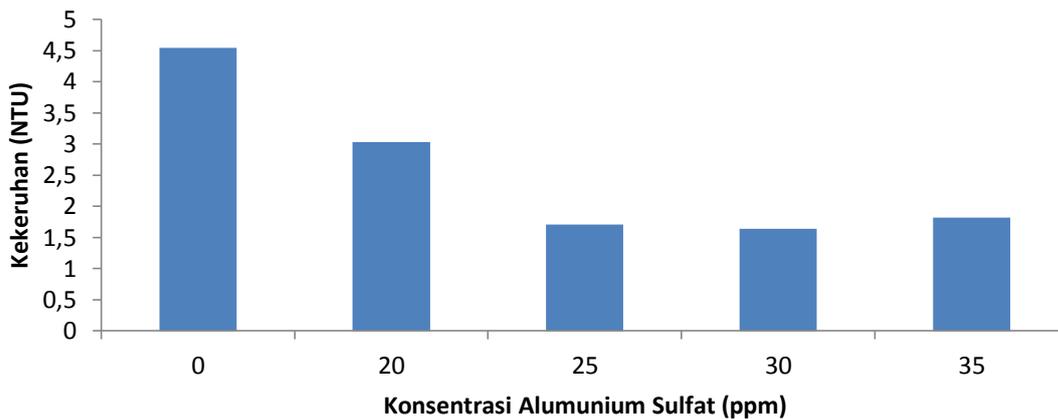
Penggunaan PAC sebagai koagulan pada konsentrasi 15 ppm hingga 30 ppm tidak lebih baik dalam menurunkan kekeruhan air dari pada koagulan aluminium sulfat pada konsentrasi 20 ppm hingga 50 ppm untuk sampel air dari Sungai Tanjung. Namun, kedua koagulan memiliki kemampuan menurunkan tingkat kekeruhan air menjadi 4 NTU pada konsentrasi 35 ppm pada aluminium sulfat dan 25 ppm pada PAC.



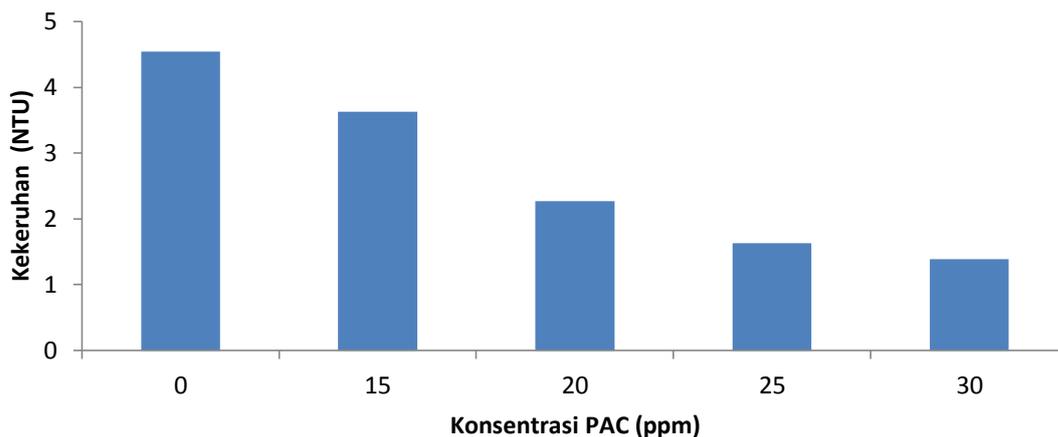
Gambar 7 Hubungan antara kekeruhan dan konsentrasi koagulan PAC pada analisis jar test sampel air Sungai Tanjung



Gambar 8 Hubungan antara kekeruhan dan konsentrasi koagulan Aluminium Sulfat pada analisis jar test sampel air Sungai Tanjung



Gambar 9 Hubungan antara kekeruhan dan konsentrasi koagulan Aluminium Sulfat pada analisis jar test sampel air Sungai Kreung Raya



Gambar 10 Hubungan antara kekeruhan dan konsentrasi koagulan PAC pada analisis jar test sampel air Sungai Kreung Raya

Dilakukan analisis jar test pada lokasi kedua yaitu Sungai Krueng Raya. Hasil analisis jar test dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10. Gambar 9 menunjukkan hasil kerja dari koagulan aluminium sulfat terhadap kekeruhan air di Sungai Krueng Raya. Hasil analisis terlihat penurunan kekeruhan hingga 50% setelah ditambahkan dengan konsentrasi 25 ppm dan 30 ppm yaitu berturut-turut sebesar 1,71 NTU dan 1,64 NTU. Tingkat kekeruhan pada konsentrasi 20 ppm adalah 3,03 NTU. Namun, terjadi penambahan kekeruhan pada penggunaan aluminium sulfat pada 35 ppm dibandingkan konsentrasi sebelumnya yaitu menjadi 1,82 NTU. Hal ini disebabkan oleh kelebihan dosis koagulan aluminium sulfat. Koagulan Aluminium sulfat dapat menaikkan tingkat kekeruhan air pada air yang kekeruhannya rendah akibat flok yang berlebihan (Dempsey 1998). Tingkat kekeruhan air Sungai Krueng Raya memang tergolong rendah yaitu 4,5 NTU.

Hasil analisis jar tes koagulan PAC terhadap kekeruhan air di Sungai Krueng Raya dapat dilihat pada tabel 10. Penggunaan koagulan PAC tersebar pada konsentrasi 15 ppm, 20 ppm, 25 ppm dan 30 ppm. Hasil penurunan tingkat kekeruhan dari kekeruhan awal (4,54 NTU) berturut-turut adalah 3,63 NTU, 2,27 NTU, 1,63 NTU dan 1,39 NTU. Penggunaan PAC 25 ppm sudah menurunkan tingkat kekeruhan air sungai sebesar 50 % yaitu 2,27 NTU dari 4,54 NTU.

Penggunaan PAC sebagai koagulan pada konsentrasi 15 ppm hingga 30 ppm tidak berbeda efektif dalam menurunkan kekeruhan air dari pada koagulan aluminium sulfat pada konsentrasi 20 ppm hingga 35 ppm untuk sampel air dari Sungai Krueng Raya. Namun, koagulan aluminium sulfat memiliki dosis berlebih pada konsentrasi 35 ppm yang membuat bertambahnya tingkat kekeruhan air dari konsentrasi sebelumnya. Penurunan optimal didapat dari penurunan tingkat kekeruhan air sebesar 50% terhadap air Sungai

Krueng Raya. Aluminium sulfat dan PAC menurunkan kekeruhan 50 % pada konsentrasi yang sama yaitu 25 ppm. Efisiensi proses koagulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, temperatur, alkalinitas, jenis koagulan dan intensitas pengadukan (Lee et al. 2008)

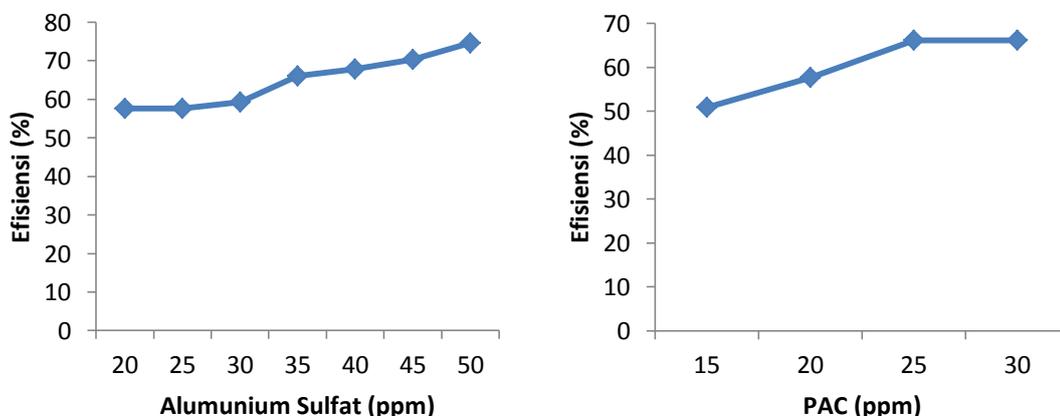
Penentuan Dosis Koagulan Optimum

Penentuan koagulan optimum merupakan kombinasi dari dosis koagulan terendah, efisiensi pengurangan kekeruhan tertinggi dan perhitungan segi ekonomi. Koagulan optimum akan digunakan pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) sebagai koagulan terbaik dalam mengolah air sungai menjadi air bersih. Pada awalnya akan dibandingkan efisiensi koagulan pada masing-masing sungai kemudian ditentukan koagulan optimum dengan mengikuti parameter koagulan terendah dan segi ekonomi.

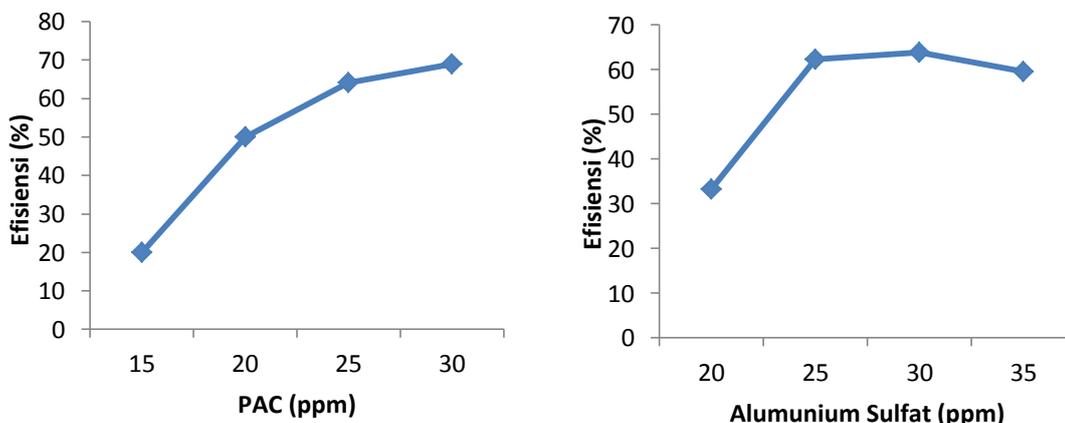
Efisiensi penggunaan koagulan PAC dan aluminium sulfat (Gambar 11) pada Sungai

Tanjung masing-masing memiliki efisiensi yang semakin tinggi setelah dilakukan penambahan konsentrasi koagulan. Kecuali terdapat pada PAC yang memiliki efisiensi yang sama antara 25 ppm dan 30 ppm. Efisiensi tertinggi koagulan aluminium sulfat pada konsentrasi 50 ppm sebesar 74,57% sedangkan PAC pada konsentrasi 25 dan 30 ppm sebesar 66,1%.

Perbandingan tingkat optimal koagulan dibandingkan hasil akhir kekeruhan pada Sungai Tanjung (4 NTU) terdapat di 35 ppm pada alum dan 25 ppm pada PAC. Konsentrasi PAC lebih rendah 10 ppm dibandingkan aluminium sulfat dengan efisiensi sama. Hal ini disebabkan PAC lebih cepat membentuk flok daripada koagulan biasa. Hal ini disebabkan adanya gugus aktif aluminat yang bekerja efektif dalam mengikat koloid yang ikatan ini diperkuat dengan rantai polimer dari gugus polielektrolit sehingga gumpalan floknya menjadi lebih padat (Gao et al. 2005).



Gambar 11 Efisiensi koagulan aluminium sulfat (kiri) dan PAC (kanan) di Sungai Tanjung berdasarkan tingkat konsentrasi koagulan



Gambar 12 Efisiensi koagulan PAC (kiri) dan Aluminium Sulfat (kanan) di Sungai Krueng Raya berdasarkan tingkat konsentrasi

Tabel 2 Perbandingan dosis koagulan terhadap kekeruhan akhir, efisiensi dan biaya

Koagulan	Dosis (ppm)	Kekeruhan akhir (NTU)	Efisiensi (%)	Biaya (Rp per m ³)
Sungai Tanjung				
PAC	25	4	66,10	250
Aluminium Sulfat	35	4	66,10	140
Sungai Krueng Raya				
PAC	30	1,39	69	300
Aluminium Sulfat	30	1,64	63,9	120

Efisiensi penggunaan koagulan aluminium sulfat dan PAC (Gambar 12) pada Sungai Krueng Raya masing-masing memiliki efisiensi yang semakin tinggi setelah dilakukan penambahan konsentrasi koagulan. Kecuali terdapat pada aluminium sulfat memiliki efisiensi yang turun pada konsentrasi 35 ppm. Efisiensi tertinggi koagulan PAC terdapat pada konsentrasi 30 ppm sebesar 69% sedangkan aluminium sulfat pada konsentrasi 30 ppm sebesar 63,9%.

Biaya koagulan dilakukan untuk mengetahui biaya bahan baku yang diperlukan untuk membuat Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) yang ekonomis dan sebagai parameter untuk menentukan koagulan optimum. Harga satuan yang berbeda antara poli-aluminium klorida (Rp 10.000/Kg) dan aluminium sulfat (Rp 4000,00/Kg) membuat biaya pengolahan lebih ekonomis menggunakan koagulan jenis aluminium sulfat.

Berdasarkan harga bahan baku koagulan (Tabel 2) terlihat perbedaan harga yang signifikan pada penggunaan dengan nilai efisiensi yang sama pada Sungai Tanjung. Berdasarkan hal tersebut disimpulkan bahwa penggunaan koagulan aluminium sulfat konsentrasi 35 ppm adalah koagulan optimum

untuk memperbaiki kualitas air Sungai Tanjung dengan biaya Rp 140,00 per m³.

Berbeda dengan Sungai Krueng Raya, berdasarkan harga bahan baku koagulan (Tabel 2) terlihat perbedaan harga yang signifikan pada penggunaan dengan nilai efisiensi yang tidak berbeda jauh. Berdasarkan hal tersebut disimpulkan bahwa penggunaan koagulan aluminium sulfat konsentrasi 25 ppm adalah koagulan optimum untuk memperbaiki kualitas air Sungai Krueng Raya dengan biaya Rp 120,00 per m³.

Kualitas Air Olahan

Hasil pengukuran kualitas air setelah pengolahan dapat dilihat pada tabel 3. Air sungai diolah dalam proses flokulasi-koagulasi dengan koagulan aluminium sulfat 35 ppm pada Sungai Tanjung dan koagulan aluminium sulfat 25 ppm pada Sungai Krueng Raya.

Terlihat semua parameter fisik air olahan memenuhi baku mutu air kelas I. Kedua air sungai memiliki warna dibawah 15 PtCo unit dan kekeruhan dibawah 5 NTU. Kualitas air sungai yang meningkat menjadi kelas I berdasarkan PP No. 82/2001 sehingga dapat diolah lebih lanjut menjadi air minum yang memenuhi persyaratan.

Tabel 3 Hasil Pengukuran Kualitas Air Sungai Krueng Raya dan Sungai Tanjung setelah perlakuan

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu Air PP 82/2001			Kualitas Air Olahan	
			Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Sungai Krueng Raya	Sungai Tanjung
Parameter Fisik							
1	Warna	PtCo unit	15	50	100	3,1	2,3
2	Bau	-	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau	Tak berbau
3	Rasa	-	Tak berasa	Tak berasa	-	Tak berasa	Tak berasa
4	Kekeruhan	NTU	5	5	-	1,64	4
7	Temperatur	C	Suhu udara (deviasi 3)	Suhu udara (deviasi 3)	Suhu udara (deviasi 3)	26,2	27,1

KESIMPULAN

Air Sungai Tanjung dan Sungai Krueng Raya pasca bencana memiliki karakteristik baku mutu air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001.

Berdasarkan hasil percobaan dengan alat jar test terhadap air Sungai Tanjung. Koagulan optimum adalah aluminium sulfat 35 ppm dengan efisiensi sebesar 66,1% dengan biaya bahan baku sebesar Rp 140,00 per m³.

Hasil percobaan jar test terhadap air Sungai Krueng Raya didapatkan bahwa koagulan optimum adalah aluminium sulfat 30 ppm dengan efisiensi sebesar 63,9% dengan biaya bahan baku sebesar Rp 120,00 per m³.

Air Sungai Tanjung dan Sungai Krueng Raya memenuhi baku mutu air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001. Setelah diolah dengan koagulasi-flokulasi memenuhi baku mutu air kelas I sehingga dapat diolah lebih lanjut menjadi air minum.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminzadeh B, Sarparastzadeh H, Saeedi M, Naeimpoor F. 2007. Pretreatment of municipal wastewater by enhanced chemical coagulation. *Int J Environ Res* 1:104-113.
- Badan Pusat Statistik Aceh. 2011. *Statistik Daerah Provinsi Aceh 2011*. Aceh
- Badan Standarisasi Nasional 2008. SNI 6989.57:2008, Metoda Pengambilan Contoh Air Permukaan
- Dempsey BA. 1998. Synthesis and speciation of polyaluminum chloride for water treatment. *EnvironInt*24:899-910
- Gao BY, Yue QY, Wang BJ, Wang SG. 2005. Characterization and coagulation of a Polyaluminum Chloride (PAC) coagulant with high Al₁₃ content. *J Environ Mgmt*. 76:143-147..
- Geng, Y. 2005. *Applications of Floc Analysis for Coagulation Optimization at The Split Lake Water Treatment Plant*. Manitoba :University of Manitoba Press.
- Haines, M.G. 2003. *Impact of Dual Alum and PolyAluminium Chloride Coagulation on Filtration*. Colorado: Colorado State University.
- Haruna, R., Ejobi, F. and Kabagambe, E.K. 2005. The quality of water from protected springs in Katwe and Kisenyi parishes, Kampala city, Uganda. *Afr. Hlth. Sci.*, 5: 14-20.
- Hendrawan D. 2005. Kualitas Air Sungai dan Situ di DKI Jakarta. *Makara, Teknologi*. Vol 9 (1) : 13-15
- Jensen, P. K., Jayasinghe, G., Van Der Hoek, W., Cairncross, S. and Dalsgaard, A., 2004. Is there an association between bacteriological drinking water quality and childhood diarrhoea in developing countries. *Trop. Med. Int. Hlth.*, 9:1210-1215.
- Karamah EF, Bismo S, Simbolon HM. 2008. Pengaruh ozon dan konsentrasi zeolit terhadap kinerja proses pengolahan limbah cair yang mengandung logam dengan proses flokuasi. *Makara* 12:43-47.
- Kementrian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2005. Laporan Pengelolaan Lingkungan Pasca Bencana Gempa dan Tsunami di Propinsi Nangroe Aceh Darusalam (NAD) dan Sumatera Utara.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No 907/MENKES/SK/VII/2002 tentang Syarat-syarat dari Pengawasan Kualitas Air Minum.
- Lee, Sun-Jong, Yoon-Jin Lee, Sang-ho Nam. 2008. Improvement in the Coagulation By Combining Al and Fe Coagulants in Water Purification. *Korean J.Chem.Eng* Vol 25(3): 505-512.
- Lin, Sun Dar. 2007. *Water and Wastewater Calculations Manual, edition*. New York : The Mac Graw - Hills Companies, Inc
- Nanan, D., White, F., Azam, I., Afsar, H. and Hozhabri, S., 2003. Evaluation of water, sanitation, hygiene education intervention on diarrhea in northern Pakistan. *Wld. Hlth. Org. Bull. Geneva*, 81:160 - 165.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Nomor: 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Jakarta
- Ropmpre, A., Servais, P., Baudart, J. 2002. Detection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. *J Microbiological Methods* 49 : 31 - 54.

- Sincero, A. P and Sincero, G. 2003. *Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater*. London: IWA Publishing
- Sugiarto. 2006. *Dasar - Dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta : UI Press
- Teng ST. 2000. *Gambaran Umum Penanganan Limbah*. Jakarta: PT Nusantara Water Centre.
- Wiwoho. 2005. *Model Identifikasi Daya Tampung Beban Cemar Sungai Dengan Qual2e - Study Kasus Sungai Babon*. Semarang : Universitas Diponegoro Press
- Xu, R., Y.P.Zhang, and J.Gregory. 2006. Different Pollutants Removal Efficiencies and Pollutants Distribution With Particle Size of Wastewater Treated by CEPT Process. *Water Practice and Technology*. 1(3): 1-7
- Zhan, H, X.Zhang, and X .Zhan. 2004. Coagulation-Flocculation Mechanism of Flocculant and Its Physical Model. *Separation Technology VI: New Perspectives on Very Large-Scale Operations*. RP3 (8): 1-11

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Penelitian Limnologi - LIPI yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian ini. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada: Ir. Daryanta MSi. (PDAM Kabupaten Bogor), yang telah memberikan masukan terkait kriteria lokasi sumber air baku; Dr. Tri Widiyanto MSi yang telah memberikan masukan tentang analisa mikrobiologis air; Bpk. Djoko Santoso yang telah membantu pengambilan sampel di lapangan serta teknisi Laboratorium Hidrokimia dan Laboratorium Mikrobiologi Pusat Penelitian Limnologi - LIPI, yang telah membantu melakukan analisa kualitas air.