

Rancang Bangun *Gravel Bed Flocculator* Sistem Kontinu untuk Pengolahan Air Sungai Martapura

Sulaiman Hamzani

Politeknik Kesehatan Kemenkes Banjarmasin, Jurusan Kesehatan Lingkungan, bidang keahlian rekayasa pengolahan air dan limbah cair

✉ shamzenviro@gmail.com

Rancang bangun *gravel bed flocculator* sebagai proses flokulasi adalah salah satu pengolahan air yang memanfaatkan gerakan air dan media butiran sebagai pengadukan hidrolis yang menghasilkan energi gesek, sehingga dapat mengendapkan *flok* diantara butiran. Tujuan penelitian ini adalah menguji kemampuan *gravel bed* dalam pengolahan air sungai. Metode yang dilakukan adalah menghitung rancang bangun reaktor sesuai kriteria desain dengan menetapkan variasi waktu kontak dan gradien kecepatan yang merupakan fungsi dari ukuran media butiran, debit aliran, luas penampang reaktor dan *headloss*. Bahan yang digunakan terdiri dari drum plastik warna biru kapasitas 200liter, mesin pompa air standar debit (Q) 0,5liter/detik, dan pasir silica. Hasil ujicoba dengan pendekatan perhitungan rancang bangun *gravel bed flocculator* diperoleh data debit (Q)=0,0005m³/detik; waktu kontak (td)=300detik; gradien kecepatan (G₁)=60detik⁻¹; diameter butiran (Db)=0,00195m; tinggi media (Tm)=0,59m menghasilkan penurunan kekeruhan sebesar 97,4% (53NTU menjadi 1,4NTU) dan pH 6,0 menjadi 6,5 memenuhi standar air minum untuk kekeruhan <5NTU dan pH 6,5-8,5. Reaktor ini dapat diaplikasi untuk masyarakat yang tinggal di bantaran sungai.

Kata kunci: waktu kontak, gradien, gravel bed, air sungai

Diajukan: 2 Juni 2020

Direvisi: 14 Juni 2020

Diterima: 15 Juni 2020

Dipublikasikan online: 16 Juni 2020

Pendahuluan

Flokulasi adalah proses yang terjadi dalam pengolahan air berupa pembentukan gumpalan atau flok yang kecil menjadi lebih besar melalui pengadukan lambat, sehingga akan mengendap lebih cepat (Pusteklim, 2007). Flokulasi merupakan kelanjutan dari koagulasi, dimana mikroflok hasil koagulasi mulai menggumpal menjadi makroflok dan dapat diendapkan (Stumm, et al., 1996). Proses penggumpalan ini tergantung waktu dan pengadukan lambat dalam air. Nilai gradien kecepatan (G) untuk proses flokulasi berkisar 10-100/detik dan jumlah tumbukan antar partikel (Gtd) adalah 10⁴-10⁵ (Fair, et al., 1971). Nilai yang biasanya diadopsi sekitar 30/detik untuk flok dapat mengendap (Stevenson, 1997). Flokulator hidrolis terpenuhi apabila memperhatikan kriteria desain meliputi gradien kecepatan, waktu kontak, dan jumlah tumbukan antar partikel (Montgomery, 1985).

Pengadukan hidrolis dapat memanfaatkan media butiran sebagai energi pengaduk dalam aliran air (Masduqi, et al., 2002) *Upflow clarifiers* atau *gravel bed flocculator* adalah unit yang menggabungkan 3 proses yaitu koagulasi, flokulasi dan sedimentasi ke dalam satu unit reaktor yang didesain untuk mengolah padatan flok menjadi lebih besar (Citra, 2011). Air hasil proses flokulasi dapat meninggalkan unit reaktor dengan aliran keatas melewati media butiran dan *sludge blanket*, dimana flok tertahan karena terjadi kontak antara padatan menggumpal dengan media butiran dan *sludge blanket*.

Selanjutnya air mengalir secara limpasan sebagai *effluent*.

Gradien kecepatan (G) merupakan fungsi dari ukuran media butiran, debit aliran, luas penampang flokulator dan kehilangan tekanan. *Gravel bed flocculator* ini hanya menggunakan media butiran ukuran tertentu sebagai sistem pengadukannya, dapat dikatakan sederhana dan murah untuk debit air <5 liter/detik yang bisa berlangsung secara *upflow* maupun *downflow* (Reynold, et al., 1996). Sifat khas reaktor ini mampu mengendapkan flok diantara batuan dan waktu kontak relatif singkat 3-5 menit, setara dengan 15 menit waktu skala uji jarrest atau sekitar 25 menit waktu proses flokulasi model reaktor konvensional (Hadi, 2012).

Metode

Metode yang dilakukan adalah menghitung rancang bangun reaktor sesuai kriteria desain dengan menetapkan variasi waktu kontak dan gradien kecepatan yang merupakan fungsi dari ukuran media butiran, debit aliran, luas penampang reaktor dan *headloss*. Bahan yang diperlukan yaitu drum plastik warna biru kapasitas 200 liter ukuran diameter 0,57 m dan tinggi 0,9 m, mesin pompa air standar debit (Q) 0,5 liter/detik, dan pasir silica sebagai media *gravel bed*. Bahan pendukung berupa kapur dan PACl. Variabel penelitian mencakup variasi gradien kecepatan (G hitung) 60 detik⁻¹(diberi kode G₁); 40 detik⁻¹(G₂); 20 detik⁻¹(G₃). Variasi waktu kontak (td) 180 detik (diberi kode T₁) dan 300 detik (T₂). Parameter yang diamati kekeruhan dan pH. Perhitungan ini

Cara mensitasi artikel ini:

Hamzani, S., (2020) Rancang Bangun *Gravel Bed Flocculator* Sistem Kontinu untuk Pengolahan Air Sungai Martapura. *Buletin Profesi Insinyur* 3(1) 011-016

mengacu pada ketentuan kriteria desain dan simbol rumus sesuai keperluan. Selain itu diperlukan juga perhitungan kebutuhan bahan dan biaya untuk kapur dan PACI yang digunakan pada pengolahan air sungai Martapura.

Hasil Kerja

Desain Rancang Bangun Reaktor

Model desain *gravel bed flocculator* dan media butiran pasir silica dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3 diketahui bahwa komponen utama peralatan dan bahan reaktor *gravel bed flocculator* adalah drum 200 liter, mesin pompa air 0,5 liter/detik, dan pasir silica. Sementara komponen penunjang yaitu pompa dosing, tong larutan koagulan, pipa plastik, dan aksesoris perpipaan.

Perhitungan Rancang Bangun Reaktor

Perhitungan reaktor ditentukan berdasarkan kriteria desain yaitu untuk gradien kecepatan (G) berkisar 10-100 detik⁻¹, maka ditetapkan variasi G₁ = 60 detik⁻¹ G₂ = 40 detik⁻¹ G₃ = 20 detik⁻¹ dan untuk waktu kontak berkisar 180-300 detik (3-5 menit), maka ditetapkan variasi T₁ = 180 detik dan T₂ = 300 detik.

Berikut disajikan salah satu contoh hasil perhitungan reaktor G₁ = 60 detik⁻¹ dan T₂ = 300 detik sebagai berikut:

Debit air olahan (Q) = 0,0005 m³/detik

Waktu kontak (td) = 300 detik (5 menit)

Banyaknya tumbukan (Gtd) = 18.000

$$G \text{ teoritis} = \frac{18.000}{300 \text{ detik}} = 60 \text{ detik}^{-1}$$

Diameter butiran (Db) = 0,00195 m

Diameter drum (Dd) = 0,57 m

Jari-jari drum (r) = 0,285 m

Volume air (V) = Q x td = 0,0005 x 300 = 0,15 m³

$$\text{Tinggi media (Tm)} = \frac{V}{\pi r^2} = \frac{0,15}{3,14 \times (0,285)^2} = 0,59 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran (Va)} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\left(\frac{\pi \cdot D_d^2}{4}\right)} = \frac{0,0005}{\left[\frac{3,14 \times (0,57)^2}{4}\right]}$$

= 0,002 m/detik

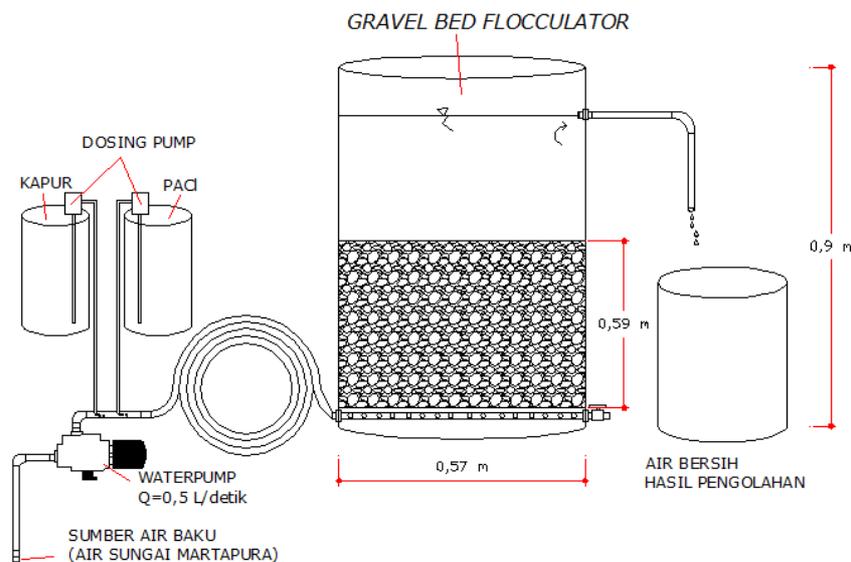
$$\text{Bilangan Reynold (NRe)} = \frac{D_b \cdot v_a \cdot \rho \cdot \theta}{\mu}$$

$$\frac{0,00195 \times 0,002 \times 996 \times 0,8}{0,8 \times 10^{-3}} = 3,81$$

$$\text{Faktor Gesek (f)} = 150 \left[\frac{1-\alpha}{NRe} \right] + 1,75 = 150 \left[\frac{1-0,4}{3,81} \right] + 1,75 = 25,39$$

$$\text{Headloss (HL)} = \frac{f}{\theta} \left[\frac{1-\alpha}{\alpha^3} \right] \left(\frac{L}{D_b} \right) \left(\frac{v_a^2}{g} \right) =$$

$$\frac{25,39}{0,8} \times \left[\frac{1-0,4}{0,4^3} \right] \times \left(\frac{0,59}{0,00195} \right) \times \left(\frac{0,002^2}{9,8} \right) = 0,04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$$



Gambar 1. Sketsa Gravel Bed Flocculator



Gambar 2. Photo Gravel Bed Flocculator



Gambar 3. Photo pasir silica diameter 1,95 mm

$$G \text{ hitung} = \left[\frac{(h.p.g.Q)}{\mu.\alpha.V} \right]^{1/2} = \left[\frac{(0,04 \times 996 \times 9,8 \times 0,0005)}{(0,8 \times 10^{-3}) \times 0,4 \times 0,15} \right]^{1/2}$$

= 60 detik⁻¹

Keterangan menurut (Hamzani, 2013):

- Q = debit aliran (m³/detik)
- Td = waktu kontak (detik), kriteria 180-300 detik
- Gtd = banyaknya jumlah tumbukan, kriteria 10⁴–10⁵
- G = gradien kecepatan (detik⁻¹), kriteria 10–100 detik⁻¹
- Db = diameter butiran (m)
- Dd = diameter drum (m)
- r = jari-jari drum (m)
- V = volume air (m³)
- Tm = Tinggi media (m)
- Va = kecepatan aliran (m/detik)
- NRe = bilangan Reynold, kriteria aliran laminer < 2000
- f = faktor gesekan
- HL = headloss atau kehilangan tekanan (m)
- μ = viskositas dinamik air (0,8x 10⁻³ kg/m.detik) 30°C
- ρ = massa jenis air (996 kg/m³) 30°C
- g = percepatan gaya gravitasi (9,8 m/detik²)
- α = porositas butiran (0,4)
- θ = faktor bentuk (0,8)

Ujicoba Pengolahan

Data hasil ujicoba pengolahan air Sungai Martapura pada *gravel bed flocculator* sistem kontinu dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 terlihat hasil ujicoba pengolahan air Sungai Martapura dengan *gravel bed flocculator* sistem kontinu mampu memperbaiki kualitas kekeruhan dan pH.

Hasil ujicoba terbaik pada perlakuan kode sampel G₁T₂ yaitu gradien kecepatan 60 detik⁻¹ dan waktu kontak 300 detik atau 5 menit mampu memperbaiki kualitas kekeruhan 53 NTU menjadi 1,4 NTU dan pH 6,0 menjadi 6,5 memenuhi standar air minum kekeruhan <5 NTU dan pH 6,5-8,5.

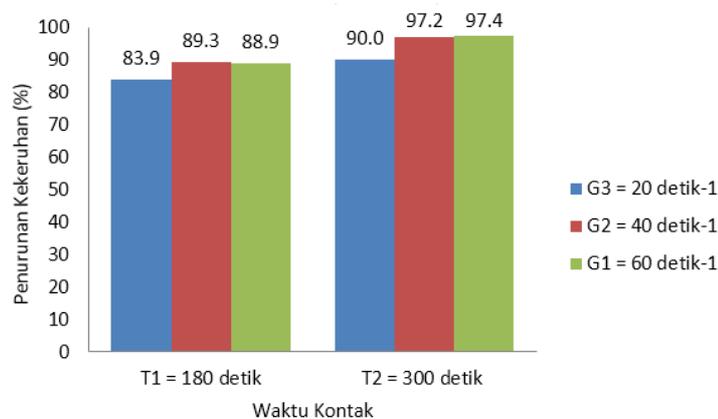
Secara grafik persentase penurunan kekeruhan pada *gravel bed flocculator* sistem kontinu dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa semua ujicoba menghasilkan persentase penurunan kekeruhan >80%. Persentase penurunan kekeruhan yang paling tinggi atau efektif adalah pada gradien (G₁) = 60 detik⁻¹; waktu kontak (T₂) = 300 detik yaitu sebesar 97,4%.

Pembahasan

Gradien kecepatan dinyatakan sebagai intensitas pengadukan sebagai fungsi dari tenaga yang disuplai untuk pengolahan air. Proses flokulasi memerlukan pengadukan lambat, sementara besarnya gradien kecepatan (G) mempengaruhi waktu (td) pengadukan. Makin besar nilai G, maka makin pendek waktu yang diperlukan. Untuk menyatakan G dan td digunakan bilangan Camp yaitu hasil perkalian gradien kecepatan dengan waktu pengadukan (Masduqi, et al., 2002).

Pengadukan lambat bertujuan menghasilkan gerakan air secara perlahan dalam kondisi laminer, sehingga terjadi kontak antar partikel membentuk gabungan partikel berukuran besar. Penggabungan inti gumpalan



Gambar 4. Persentase Penurunan Kekeruhan

Tabel 1 Hasil Ujicoba Pengolahan Air Sungai Martapura

Sebelum Ujicoba		Sesudah Ujicoba Waktu Kontak 180 detik			Sesudah Ujicoba Waktu Kontak 300 detik		
Kekeruhan	pH	Kode Sampel	Kekeruhan	pH	Kode Sampel	Kekeruhan	pH
53	6,0	G ₁ T ₁	5,87	6,5	G ₁ T ₂	1,4	6,5
55,67	6,0	G ₂ T ₁	5,97	6,5	G ₂ T ₂	1,57	6,5
53,33	6,0	G ₃ T ₁	8,6	6,5	G ₃ T ₂	5,32	6,5

Keterangan:

Bahan koagulan yang digunakan kapur 60 mg/L + PACl 30 mg/L

G₁ = 60 detik⁻¹ (1,95 mm); G₂ = 40 detik⁻¹ (2,95 mm); G₃ = 20 detik⁻¹ (6,25 mm)

T₁ = 180 detik (0,35 m); T₂ = 300 detik (0,59 m).

sangat bergantung pada karakteristik flok dan nilai gradien kecepatan. Pengadukan lambat berlangsung pada nilai gradien kecepatan kurang dari 100 detik⁻¹ dengan kisaran waktu selama 10-60 menit. Sama halnya dengan pengadukan cepat, nilai G dan td bergantung pada maksud atau sasaran pengadukan lambat. Dalam rancang bangun ini proses flokulasi didesain menggunakan *gravel bed flocculator*, dimana nilai G teoritis yang direncanakan adalah variasi gradien kecepatan (G) terdiri dari: 60; 40; 20 detik⁻¹ dan variasi waktu kontak selama 180 detik dan 300 detik. Berdasarkan hasil perhitungan desain, diperoleh masing-masing nilai NRe sebesar 3,81; 5,76; 12,20 (memenuhi kriteria desain NRe < 2000, aliran laminar) dan nilai G hitung masing-masing sebesar 60 detik⁻¹ (diameter butiran *gravel* 1,95 mm); 40 detik⁻¹ (diameter butiran *gravel* 2,95 mm); 40 detik⁻¹ (diameter butiran *gravel* 6,25 mm). Nilai G hitung sesuai dengan G teoritis dan kriteria desain 20-100 detik⁻¹.

Nilai G merupakan satuan berbanding lurus dengan banyaknya tumbukan (Puteri, 2011). Semakin besar nilai G berarti semakin banyak tumbukan yang terjadi dan semakin besar ukuran flok yang terbentuk. Semakin kecil nilai G.td yang terjadi menunjukkan penurunan pembentukan flok yang disebabkan waktu detensi kecil, sehingga proses tidak berjalan sempurna. Sedangkan nilai G.td semakin besar mengakibatkan flok yang terbentuk pecah kembali, karena lamanya waktu detensi atau semakin besar nilai G yang dicapai.

Nilai G pada debit 0,05 L/detik untuk unit koagulasi adalah 77,1 detik⁻¹ dan unit flokulasi adalah 5,9 detik⁻¹ (Notodarmodjo, et al., 2004). Walaupun nilai Gtd pada penelitian tersebut tidak memenuhi syarat, tetapi proses flokulasi dapat menghasilkan flok yang mudah mengendap. Aliran melalui media kerikil yang berliku memberi kesempatan lebih besar bagi koloid saling kontak membentuk flok. Jika dibanding dengan proses flokulasi konvensional, maka nilai Gtd pada media berbutir tidak harus memenuhi kriteria desain. Debit mempengaruhi kecepatan aliran antar pori dan kehilangan tekan. Kehilangan tekan (HL) mempengaruhi energi yang digunakan dalam proses, dimana HL yang makin besar menyebabkan harga Gtd juga semakin besar. Hal ini dikarenakan kecepatan aliran besar dan banyak tumbukan partikel koloid yang telah terdestabilisasi membentuk flok-flok semakin baik. Kecepatan yang terlalu tinggi membuat flok bisa pecah kembali, akibat gaya gesek yang berlebihan (Bo, et al., 2011).

Penggunaan media berbutir sebagai proses flokulasi menunjukkan kinerja yang baik dalam pengolahan air. Kendala yang bisa terjadi pada pengoperasian *gravel bed* adalah tertutupnya *bed* oleh flok dan kemungkinan tumbuhnya bakteri, maka perlu dilakukan pembersihan secara berkala dengan membuka kran pengurasan untuk menggelontor (Hadi, 2012).

Untuk pengadukan lambat pada proses flokulasi, yang menentukan adalah jumlah tumbukan partikel (proses pembentukan flok) yaitu Gtd. Nilai Gtd sama dengan pengadukan cepat antara 10⁴-10⁵ dengan waktu kontak (td) antara 10-30 menit (Fair, et al., 1971) atau 15-45 menit (Spellman, 2009). *Gravel bed flocculator* hanya menggunakan kerikil untuk sistem pengadukannya, sehingga sederhana dan murah terutama untuk instalasi

kecil <50 L/detik (Hadi, 2012). Selain itu untuk aliran masuknya bisa secara *downflow* atau *upflow* dan gradien kecepatan merupakan fungsi dari ukuran kerikil; debit aliran; luas penampang flokulator, dan *headloss*. Sifat khas dari flokulator jenis ini adalah kemampuannya dalam mengendapkan flok diantara batuan, sehingga dapat dipakai sebagai *pre-treatment* untuk *direct filtration* (tanpa pengendap II). Waktu kontak (td) dapat dikurangi untuk pengolahan dengan *gravel bed*, karena seluruh bed efektif untuk pembentukan flok tanpa terjadi aliran pendek (Sun, et al., 2011). Nilai antara gradien kecepatan (G) dan lama pengadukan (td) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai optimalisasi proses flokulasi (Rossini, et al.). Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa ujicoba pengolahan air sungai Martapura pada *gravel bed flocculator* sistem kontinu, terbukti menghasilkan pengolahan memenuhi standar kualitas air minum pada waktu kontak selama 300 detik (5 menit).

Hal ini dikarenakan kecepatan aliran besar dan banyak tumbukan partikel koloid yang telah terdestabilisasi membentuk flok-flok semakin baik. Kecepatan yang terlalu tinggi membuat flok bisa pecah kembali, akibat gaya gesek yang berlebihan (Bo, et al., 2011).

Penggunaan media berbutir sebagai proses flokulasi menunjukkan kinerja yang baik dalam pengolahan air. Kendala yang bisa terjadi pada pengoperasian *gravel bed* adalah tertutupnya *bed* oleh flok dan kemungkinan tumbuhnya bakteri, maka perlu dilakukan pembersihan secara berkala dengan membuka kran pengurasan untuk menggelontor (Hadi, 2012).

Untuk pengadukan lambat pada proses flokulasi, yang menentukan adalah jumlah tumbukan partikel (proses pembentukan flok) yaitu Gtd. Nilai Gtd sama dengan pengadukan cepat antara 10⁴-10⁵ dengan waktu kontak (td) antara 10-30 menit (Fair, et al., 1971) atau 15-45 menit (Spellman, 2009). *Gravel bed flocculator* hanya menggunakan kerikil untuk sistem pengadukannya, sehingga sederhana dan murah terutama untuk instalasi kecil <50 L/detik (Hadi, 2012). Selain itu untuk aliran masuknya bisa secara *downflow* atau *upflow* dan gradien kecepatan merupakan fungsi dari ukuran kerikil; debit aliran; luas penampang flokulator, dan *headloss*. Sifat khas dari flokulator jenis ini adalah kemampuannya dalam mengendapkan flok diantara batuan, sehingga dapat dipakai sebagai *pre-treatment* untuk *direct filtration* (tanpa pengendap II). Waktu kontak (td) dapat dikurangi untuk pengolahan dengan *gravel bed*, karena seluruh bed efektif untuk pembentukan flok tanpa terjadi aliran pendek (Sun, et al., 2011). Nilai antara gradien kecepatan (G) dan lama pengadukan (td) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai optimalisasi proses flokulasi (Rossini, et al.). Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa ujicoba pengolahan air sungai Martapura pada *gravel bed flocculator* sistem kontinu, terbukti menghasilkan pengolahan memenuhi standar kualitas air minum pada waktu kontak selama 300 detik (5 menit).

Penggunaan dosis optimum bahan koagulan kapur dan PACl, berdasarkan hasil penelitian diketahui mampu mengolah air sungai Martapura secara kontinu pada proses koagulasi dan flokulasi menggunakan *gravel bed*

flocculator dalam upaya memperbaiki kualitas air sungai hingga memenuhi persyaratan kualitas air bersih maupun kualitas air minum. Penurunan kekeruhan menggunakan koagulan PACl dapat terjadi dalam kondisi asam (pH 5,0-6,5) dengan dosis koagulan yang dibutuhkan pada rentang pH tersebut ternyata relatif sama. Penurunan kekeruhan menggunakan koagulan PACl terjadi pada rentang pH yang lebih lebar untuk setiap dosis.

Kehadiran polimer berukuran sedang tersebut memperkuat mekanisme koagulasi yang terjadi yaitu netralisasi muatan dan *interparticle-bridging* (ikatan rantai polimer antar partikel). Spesies polimer ini tidak sensitive terhadap perubahan pH sehingga proses koagulasi dapat terjadi pada rentang pH yang lebar dan dengan dosis yang relatif sama. Koagulan PACl mampu menggumpalkan partikel koloid pada dosis aluminium yang lebih rendah dibandingkan tawas terutama pada kondisi asam (pH 5). Pada pH 7, spesies yang dominan di kedua koagulan ini adalah spesies yang sama, yaitu presipitat $Al(OH)_3$ dan mekanisme yang bekerjapun sama, yaitu penjebaran dalam flok sehingga diperoleh kebutuhan aluminium yang hampir sama. Selain itu ternyata pada pH operasi yang tinggi (pH >7), PACl mampu memberikan penurunan kekeruhan yang lebih baik dibandingkan tawas. Konsentrasi koloid yang tinggi berkorelasi dengan jumlah partikel yang tinggi di larutan, sehingga dapat meningkatkan frekuensi tumbukan dari partikel yang sudah menjadi tidak stabil (terdestabilisasi) dan akhirnya dapat memperbaiki kinetika flokulasi.

Dengan kata lain, jika konsentrasi partikel koloid terdispersi di larutan rendah maka kesempatan untuk terjadinya tumbukan antar partikel yang telah terdestabilisasi dapat memacu pertumbuhan flok sangatlah kecil, sehingga dibutuhkan dosis yang tinggi untuk pembentukan inti flok dan mengisi larutan dengan partikel-partikel terdispersi agar kontak antar partikel dapat terjadi. PACl memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan tawas pada kondisi asam (pH 5-6,5) karena kemampuan netralisasi muatan yang dimiliki oleh spesies polimernya. Kondisi optimum menggunakan alum terjadi pada pH netral (6,5-7,0) dan pada kondisi ini kebutuhan aluminium baik dari PACl maupun tawas hampir sama, karena adanya spesies yang sama yang bekerja pada mekanisme yang sama yaitu *sweep coagulation*.

Jika memperhatikan kualitas maupun kuantitas air sesudah pengolahan dan total biaya bahan koagulan, maka dapat dikatakan harga koagulan masih sangat terjangkau. Debit pengolahan sebesar 0,5 L/detik menghasilkan air olahan 1,8 m³ dalam waktu 1 jam, di mana memerlukan biaya bahan hanya Rp. 750,- untuk koagulan kapur dan PACl. Penggunaan koagulan kapur dan PACl memberikan efek yang lebih baik untuk mencapai persyaratan kualitas air minum.

Kesimpulan

Hasil ujicoba dengan pendekatan perhitungan rancang bangun *gravel bed flocculator* diperoleh data debit (Q)=0,0005m³/detik; waktu kontak (td)=300detik; gradien kecepatan (G_1)=60detik⁻¹; diameter butiran (Db)=0,00195m; tinggi media (Tm)=0,59m menghasilkan penurunan kekeruhan sebesar 97,4% (53NTU menjadi 1,4NTU) dan pH 6,0 menjadi 6,5 memenuhi standar air

minum untuk kekeruhan <5NTU dan pH 6,5-8,5. Reaktor ini dapat diaplikasi bagi masyarakat yang tinggal di bantaran sungai.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Civitas Akademika Politeknik Kesehatan Kemenkes Banjarmasin khususnya Jurusan Kesehatan Lingkungan. Ibu Prof. Dr. Ir. Hesty Heryani, M.Si., IPU., ASEAN Eng selaku Dosen Pembimbing Karya Tulis.

Referensi

- Bo X [et al.]** (2011) Coagulation Performance and Flocculation Properties of Compound Bioflocculant-Aluminum Sulfate Dual-Coagulant in Treating Kaolin-Humic Acid Solution [Journal] // Chemical Engineering Journal. Vol. 173. - pp. 400-406.
- Citra DM** (2011) Studi Peningkatan Kapasitas Pengolahan di Instalasi PDAM Ngagel I Surabaya [Report] : Skripsi / Teknik Lingkungan ; ITS. - Surabaya.
- Fair GM, Geyer JC and Okun DA** (1971) Elements of Water Supply and Wastewater Disposal [Book]. - New York : John Wiley and Sons.
- Hadi Wahyono** (2012) Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum [Book]. - Surabaya : ITS PRESS.
- Hamzani S** (2013) Proses Koagulasi dan Flokulasi Menggunakan Gravel Bed Flocculator untuk Pengolahan Air Sungai Martapura di Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan [Report] : Tesis / Teknik Lingkungan ; ITS. - Surabaya.
- Masduqi A and Slamet A** (2002) Satuan Operasi Jurusan Teknik Lingkungan [Book]. - Surabaya : FTSP-ITS.
- Montgomery JM** (1985) Water treatment: Principles and Design [Book]. - New York : John Wiley.
- Notodarmodjo S, Astuti A and Juliah A** (2004) Kajian Unit Pengolahan menggunakan Media Berbutir dengan Parameter Kekeruhan, TSS, Senyawa Organik dan pH [Conference]. - Bandung.
- Pusteklim** (2007) Pelatihan Teknologi Tepat Guna Pengolahan Air limbah [Report]. - Yogyakarta : Yayasan Dian Desa.
- Puteri AR** (2011) Studi Penurunan Kekeruhan Air Kali Surabaya dengan Proses Flokulasi dalam Bentuk Flokulator Pipa Circular [Report] : Skripsi / Teknik Lingkungan ; ITS. - Surabaya.
- Reynold TD and Richards PA** (1996) Unit Operation and Processes in Environmental Engineering [Book]. - Monterey, California : Brooks/Cole Engineering Division.
- Rossini M, Garrido JG and Galluzzo M** (1999) Optimization of the Coagulation-Flocculation Treatment: Influence of Rapid Mix Parameters [Journal] // Water Research. 8 : Vol. 33. - pp. 1817-1826.
- Spellman FR** (2009) Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations [Book]. - Broken Sound Parkway New York : CRC Press Taylor and Francis Group. - 2nd.

Stevenson DG (1997) *Water Treatment Unit Processes* [Book]. - London : Imperial College Press.

Stumm WG and Morgan JJ (1996) *Aquatic Chemistry* [Book]. - Singapore : John Wiley and Sons Inc., - 2nd.

Sun C [et al.] (2011) Effect of pH and Shear Force on Flocc Characteristics for Humic Acid Removal Using

Polyferric Aluminum Chloride–Organic Polymer Dual-Coagulants [Journal] // *Desalination Journal*. - Vol. 12. - pp. 49-109.