

Efektifitas $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan FeCl_3 Dalam Pengolahan Air Menggunakan *Gravel Bed Flocculator* Ditinjau Dari Parameter Warna dan Zat Organik

Hani Yosita Putri dan Wahyono Hadi

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: wahyonohadi@yahoo.com

Abstrak— Air permukaan yang dijadikan sebagai air baku untuk air bersih kondisinya masih di bawah baku mutu. Air permukaan tersebut masih banyak mengandung zat padat yang tersuspensi maupun koloid. Pada pengolahan air bersih, zat padat tersebut dapat di removal melalui unit pengolahan koagulasi dan flokulasi. Koagulasi dan flokulasi adalah pengolahan air bersih secara fisik-kimia, karena pada proses koagulasi ditambahkan koagulan untuk membentuk flok. *Gravel bed flocculator* merupakan salah satu jenis unit flokulator yang menggunakan pengadukan hidrolis, dimana tenaga pengadukan yang digunakan berasal dari gerakan air. *Gravel bed flocculator* dapat mengendapkan flok diantara batuan dengan waktu kontak yang lebih singkat, yaitu antara 3-5 menit. Pada penelitian ini digunakan 2 variabel yaitu variasi jenis koagulan dan variasi td (waktu detensi) pada media. Jenis koagulan yang digunakan adalah $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan FeCl_3 dan td (waktu detensi) yang digunakan adalah 3 menit dan 4 menit. Pengolahan dengan menggunakan *gravel bed flocculator* ini, koagulan yang efektif digunakan adalah $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan td (waktu detensi) pada media sebesar 4 menit mampu meremoval warna sebesar 65,9% dan mampu menurunkan zat organik hingga 63,8%.

Kata Kunci—Flokulasi, *gravel bed flocculator*, koagulasi

I. PENDAHULUAN

AIR baku yang dijadikan sebagai bahan baku air bersih oleh masyarakat saat ini kondisinya masih jauh dari baku mutu. Air permukaan maupun air tanah yang biasa digunakan dijadikan masih mengandung zat padat maupun zat organik. Zat padat dan zat organik yang banyak terkandung dalam air tersebut dapat menyebabkan air tidak layak untuk digunakan. Zat padat yang terkandung baik tersuspensi maupun koloidal dapat menyebabkan kekeruhan. Kekeruhan yang disebabkan oleh zat padat dapat disisihkan dengan cara koagulasi dan flokulasi [1].

Koagulasi dan flokulasi merupakan tahapan dalam pengolahan air minum sehingga dapat diperoleh air minum yang sesuai dengan baku mutu. Koagulasi adalah metode untuk menghilangkan zat padat dalam bentuk koloid dengan cara menambahkan koagulan. Pada proses koagulasi ini, partikel-partikel koloid akan saling menarik dan menggumpal sehingga membentuk flok. Flokulasi adalah proses setelah koagulasi, yaitu penggabungan inti flok menjadi flok menjadi flok yang lebih besar sehingga dapat diendapkan [2].

Diperlukan penambahan bahan kimia, yaitu koagulan pada proses koagulasi.

Penambahan koagulan berfungsi untuk menetralkan muatan partikel dan memperkecil ketebalan lapisan difusi di sekitar partikel, maka partikel mudah bergabung dan menjadi agregat yang lebih besar sehingga dapat diendapkan [3]. Dengan adanya proses koagulasi, partikel-partikel koloid akan saling menarik dan membentuk flok [4]. Koagulan yang umum digunakan adalah koagulan yang berbasis aluminium, yaitu $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, dan koagulan berbasis ferrum/besi, yaitu FeSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ dan FeCl_3 .

Flokulasi yang digunakan adalah flokulasi hidrolis, yaitu flokulasi yang memanfaatkan gerakan air sebagai tenaga pengadukan [5]. *Gravel bed* merupakan salah satu contoh pengadukan hidrolis. Flokulasi menggunakan *gravel bed flocculator* adalah pengolahan yang memanfaatkan gerakan air sebagai energi pengadukan dan akan terjadi energi gesek pada media butiran [6]. *Gravel bed flocculator* dapat mengendapkan flok diantara batuan dan waktu kontak lebih singkat, yaitu antara 3 sampai 5 menit setara dengan 15 menit uji jarrest atau sama dengan 25 menit proses flokulasi konvensional [7]. Reaktor mampu menurunkan konsentrasi organik sampai 3,02 mg/l dengan efisiensi mencapai 73,17 % dan mampu menurunkan kekeruhan sampai 0,5 NTU dengan efisiensi mencapai 96 % [8].

Pada penelitian ini, akan dilakukan pengujian terhadap perbedaan jenis koagulan dan waktu tinggal (td) pada media untuk menurunkan warna dan zat organik pada air baku. Dengan penelitian ini diharapkan diperoleh jenis koagulan dan waktu tinggal (td) yang memiliki efisiensi removal terbesar dalam menyisihkan warna dan zat organik pada unit *gravel bed flocculator*.

II. METODE PENELITIAN

A. Penentuan Dosis Optimum

Penentuan dosis optimum bertujuan untuk mengetahui dosis koagulan yang nantinya akan digunakan untuk proses koagulasi dan flokulasi. Pada penelitian ini menggunakan 2 jenis koagulan yaitu ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ dan FeCl_3) dan 2 jenis td (waktu tinggal) yaitu 3 menit dan 4 menit. Penentuan dosis optimum koagulan dilakukan dengan menggunakan uji jarrest. Dosis optimum yang didapat dari hasil jarrest dengan

penambahan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dan $FeCl_3$ konsentrasi 1% untuk kekeruhan 100 NTU. Didapatkan dosis optimum 120 mg/l dan 200 mg/l.

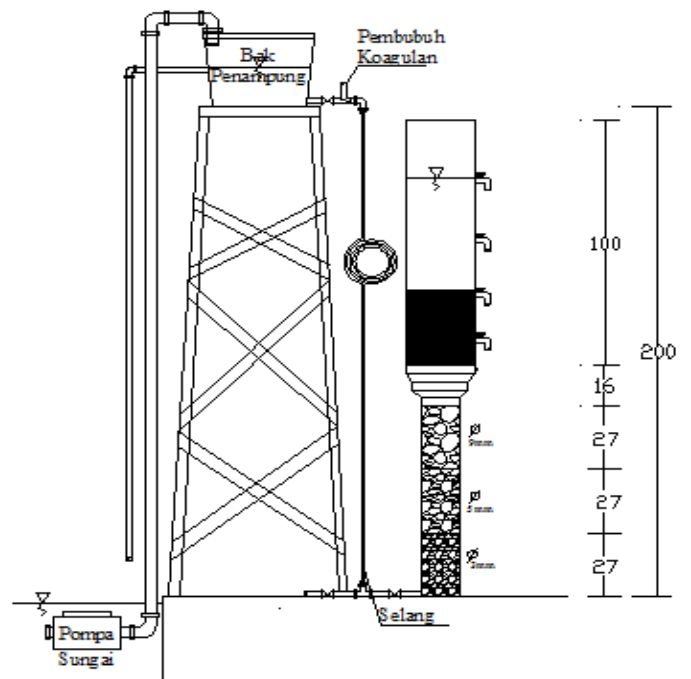
B. Air Baku

Air baku yang digunakan berasal dari *grey water* daerah Mulyosari. Sebelum air baku digunakan untuk penelitian, terlebih dahulu air baku dianalisis untuk mengetahui nilai untuk parameter yang akan dianalisa yaitu parameter warna dan zat organik. Analisis air baku dilakukan di Laboratorium Pemulihan Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Metode sampling yang dilakukan adalah pengambilan air ditengah saluran untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan menggunakan ember yang diberi tali dan pemberat.

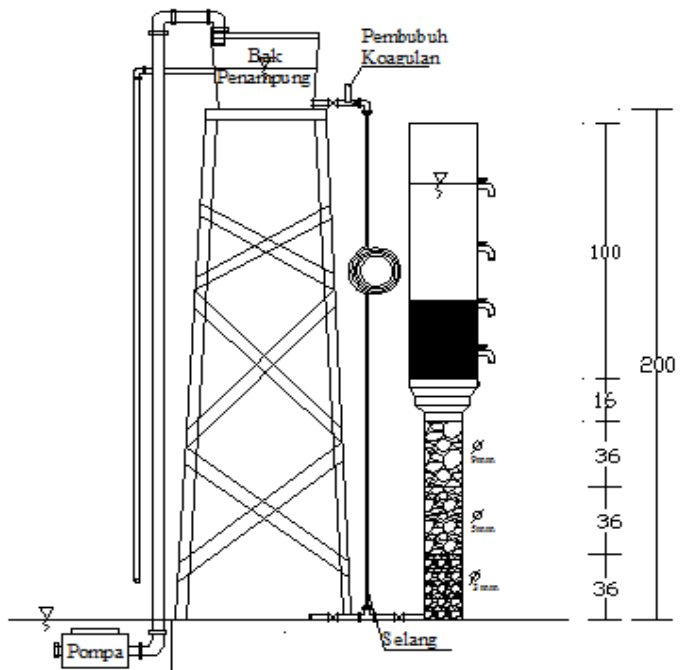
C. Reaktor Gravel Bed Flocculator

Dalam penelitian ini digunakan 2 reaktor gravel bed flocculator, hal tersebut dikarenakan penelitian ini memiliki variasi waktu tinggal (td) pada media yang berbeda yaitu 3 menit dan 4 menit. Air baku dari bak penampung selanjutnya dibubuhi koagulan $Al_2(SO_4)_3$ atau $FeCl_3$ sesuai dengan dosis optimum yang telah didapatkan dari analisa jartest. Selanjutnya, air akan mengalir pada selang transparan dengan diameter 1 cm dan panjang 15 m. Dalam selang ini terjadi proses koagulasi, yakni partikel koloid akan saling menarik dan menggumpal sehingga membentuk flok. Air dari selang menuju ke reaktor gravel bed flocculator dengan aliran upflow menuju proses flokulasi, flokulasi berlangsung dalam reaktor dengan diameter 14 cm. Terdapat variasi td Terdapat variasi td (waktu tinggal) pada media kerikil, yaitu 3 menit dan 4 menit. Dimana media gravel bed yang digunakan berupa kerikil dengan variasi diameter. Media 1 memiliki diameter 3 mm, media 2 dengan diameter 5 mm dan media 3 dengan diameter 9 mm. Untuk td 3 menit tebal media per kompartemen adalah 27 cm sedangkan td 4 menit tebal media per kompartemen adalah 36 cm.

Air hasil proses koagulasi mengalir secara upflow melewati 3 lapis media yang memiliki diameter berbeda-beda. Media kerikil tersebut berfungsi untuk pengadukan hidrolis, dimana pengadukan hidrolis memanfaatkan gerakan air sebagai energy pengaduk. Air beserta flok-flok dapat mengalir ke atas disebabkan oleh adanya tekanan. Flok-flok yang terbentuk dari proses koagulasi dan flokulasi akan membentuk sludge blanket. Dengan banyaknya flok yang terbentuk pada proses koagulasi dan flokulasi akan berfungsi sebagai penyaring maka warna dan zat organik akan tersisihkan dengan maksimal. Sludge blanket ini akan berfungsi untuk proses klarifikasi. Reaktor alat gravel bed flocculator dengan td (waktu tinggal) 3 menit ditunjukkan pada Gambar 1 dan gravel bed flocculator dengan td (waktu tinggal) 4 menit pada Gambar 2.



Gambar. 1. Reaktor Gravel Bed Flocculator dengan td 3 menit



Gambar. 2. Reaktor Gravel Bed Flocculator dengan td 4 menit

D. Pengambilan dan Analisis Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada 2 titik tiap reaktornya yaitu pada inlet (bak penampung air baku) dan outlet reaktor (kran teratas). Sampel diambil sekali dalam sehari dan dilakukan selama 7 hari. Sampel dianalisa di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Parameter warna akan dianalisa dengan metode spektrofotometri dan zat organik akan dianalisa dengan metode permanganate value.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Air Baku

Karakteristik air baku yang berasal dari grey water Mulyosari memiliki nilai untuk kekeruhan berkisar 10,7-16,3 NTU. Untuk warna memiliki nilai antara 49-130,54 TCU, zat organik 16,43-44,56 mg/l dan total coli memiliki nilai antara 8×10^5 - 300×10^5 /100 ml. Penelitian ini hanya menganalisa warna dan zat organik.

B. Pengoperasian Gravel Bed Flocculator

Pada penelitian I yaitu penelitian dengan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dan td (waktu tinggal) pada media sebesar 3 menit. Air baku berasal dari grey water Mulyosari yang dimasukkan dalam bak penampung, debit yang telah dihitung lalu diatur dengan cara mengatur valve sehingga didapatkan debit tiap detiknya sesuai dengan perhitungan. Koagulan dibubuhkan sesuai dengan dosis maksimum yang telah diperoleh, dibubuhkan dengan menggunakan selang menuju ke pipa yang membawa air baku menuju selang koagulasi. Debit koagulan yang telah dihitung lalu diatur dengan menggunakan valve, sehingga sesuai dengan debit yang dihitung.

Perlakuan yang sama juga dilakukan pada penelitian II, III dan IV. Penelitian II yaitu penelitian dengan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dan td (waktu tinggal) pada media sebesar 4 menit. Pada penelitian III menggunakan koagulan $FeCl_3$ dan td (waktu tinggal) pada media sebesar 3 menit dan penelitian IV menggunakan koagulan $FeCl_3$ dan td (waktu tinggal) pada media sebesar 4 menit.

Perhitungan koagulasi
Debit pada proses koagulasi:

$$Q = 2000 \text{ l/hari} \\ = 0,023 \text{ l/detik} = 2,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$G_{td} = G \times t_d \\ = 300 \text{ detik}^{-1} \times 60 \text{ detik} \\ = 18000$$

$$\text{Diameter selang (Ds)} = 0,01 \text{ m}$$

$$\text{Panjang selang (Ls)} = 15 \text{ m}$$

$$\text{Kecepatan aliran (Va)} = Q/A = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{2,3 \times 10^{-5}}{\frac{\pi \cdot 0,01^2}{4}} \\ = 0,294 \text{ m/detik}$$

Perhitungan flokulasi (td 3 menit)

$$Q = 2000 \text{ l/hari} \\ = 2,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Tinggi media (Lgravel)} = \frac{V}{\pi r^2} = \frac{0,00416}{3,14 \times 0,07^2} \\ = 0,27 \text{ m}$$

$$\text{Diameter drum (Dd)} = 0,14 \text{ m}$$

$$G1=30/\text{detik}$$

$$\text{Diameter gravel (Dg)} = 3 \text{ mm} = 0.003 \text{ m}$$

$$G2=20/\text{detik}$$

$$\text{Diameter gravel (Dg)} = 5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$G3=10/\text{detik}$$

$$\text{Diameter gravel (Dg)} = 9 \text{ mm} = 0.009 \text{ m}$$

Perhitungan flokulasi (td 4 menit)

$$\text{Tinggi media (Lgravel)} = \frac{V}{\pi r^2} = \frac{0,0055}{3,14 \times 0,07^2} \\ = 0,36 \text{ m}$$

$$G1=30/\text{detik}$$

$$\text{Diameter gravel (Dg)} = 3 \text{ mm} = 0.003 \text{ m}$$

$$G2=20/\text{detik}$$

$$\text{Diameter gravel (Dg)} = 5 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$G3=10/\text{detik}$$

$$\text{Diameter gravel (Dg)} = 9 \text{ mm} = 0.009 \text{ m}$$

Hsisa tekan

$$\text{Head statis} = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Hsisa tekan} = \text{Head statis} - H_f \text{ koagulasi} - H_f \text{ Flokulasi}$$

Lgravel total

$$= 200 \text{ cm} - 45 \text{ cm} - 1 \text{ cm} - 108 \text{ cm}$$

$$= 46 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi reaktor} = H \text{ sisa tekan} + L_{\text{gravel total}}$$

$$= 46 \text{ cm} + 108 \text{ cm}$$

$$= 154 \text{ cm}$$

Tinggi reaktor ditambahkan 46 cm untuk proses klarifikasi, sehingga tinggi reaktor menjadi 200 cm.

Perhitungan kebutuhan koagulan:

- Larutan 1% = 10 gram/ 1 liter air
- Debit air = 2000L/hr
- Dosis Optimum = 120 mg/l
- Volume larutan koagulan = 12 ml/L x 2000L/hr
= 24000 ml/hr
= 24 L/hr

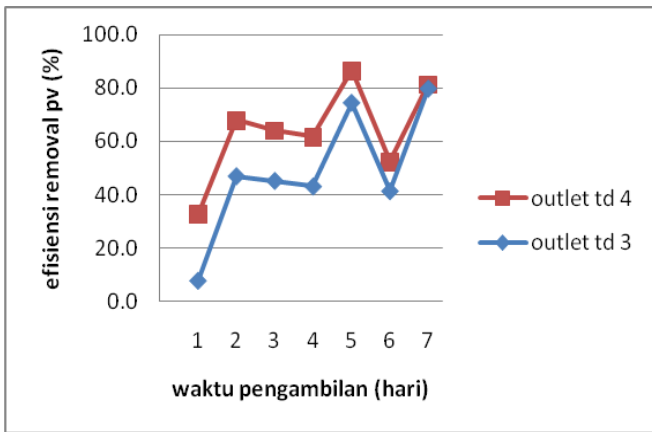
C. Penyisihan Warna dan Zat Organik

Zat organik dianalisa dengan metode permanganate value. Permanganat value merupakan analisa yang digunakan untuk menentukan kandungan zat organik dalam suatu sampel air. Bahan organik suatu sampel berkaitan erat dengan *Dissolved Oxygen* atau jumlah oksigen yang terlarut di dalamnya (Sumarsono, 2012).

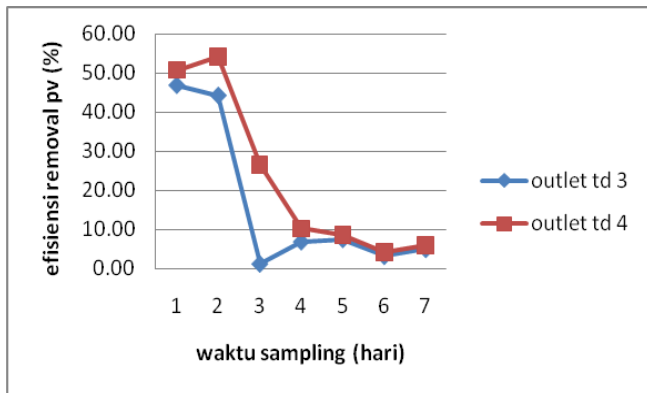
Warna dalam air disebabkan oleh adanya ion-ion metal alam, humus, plankton, tanaman air dan buangan industry. Warna dibagi menjadi dua yaitu warna sebenarnya dan warna semu. Warna sebenarnya adalah warna yang apabila akan diuji terlebih dahulu dihilangkan kekeruhannya. Warna semu yaitu warna yang tidak hanya disebabkan zat-zat terlarut dalam air tetapi juga zat tersuspensi (Alaerts dan Sumestri, 1984). Warna dianalisa dengan metode spektrofotometri, prinsip analisa warna dilakukan dengan cara membandingkan secara visual warna sampel dengan larutan standar warna yang sudah diketahui konsentrasinya.

Dalam penelitian ini akan didapatkan data mengenai besarnya nilai penyisihan zat organik dan warna dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{efisiensi penyisihan (\%)} = \frac{(\text{inlet} - \text{overflow})}{\text{inlet}} \times 100\%$$



Gambar. 3. Efisiensi Removal Al₂(SO₄)₃ terhadap PV



Gambar. 4. Efisiensi Removal FeCl₃ terhadap PV

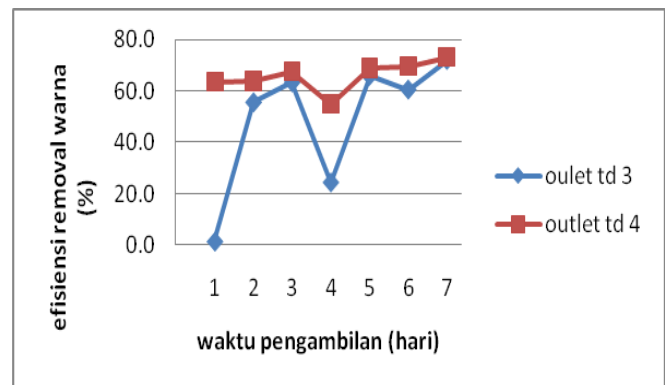
Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa trend untuk efisiensi removal zat organik mengalami kenaikan, hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan koagulan Al₂(SO₄)₃ untuk meremoval kandungan zat organik pada air baku cukup baik. Trend efisiensi removal meningkat karena sludge blanket dengan maksimal dan tebal sehingga dapat menyaring zat organik dan menurunkan kadar zat organik pada outlet reaktor. Pada Gambar 3 untuk efisiensi removal terbesar pada titik sampling outlet reaktor td 3 adalah pada hari ke 7. Pada hari ke 7 efisiensi removal pv mencapai 79,8 %. Efisiensi terendah terdapat pada hari pertama yaitu 7,7 %, hal tersebut dapat terjadi karena reaktor *gravel bed flocculator* belum dapat bekerja dengan baik. Efisiensi removal yang tinggi dipengaruhi oleh proses koagulasi dan flokulasi pada reaktor. Jika pembentukan flok pada proses koagulasi dan flokulasi dapat berjalan dengan baik maka zat organik yang dapat disisihkan juga makin banyak.

Pada hari 3, 4 dan 6 efisiensi removal zat organik menurun, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan adanya kontaminan yang masuk ke dalam reaktor sehingga zat organik pada air effluen dapat bertambah. Pada hari ke 6 juga terjadi penurunan efisiensi removal karena air baku yang masuk ke dalam bak penampung tidak mengalir dengan lancar akibat dari pompa yang tersumbat. Air baku yang masuk ke dalam selang koagulasi tersebut memiliki kecepatan yang kurang, sehingga akan berpengaruh pada proses koagulasi dan flokulasi. Pada hari ke 7 efisiensi removal kembali naik karena pompa telah dibersihkan dan air yang masuk ke dalam reaktor dapat

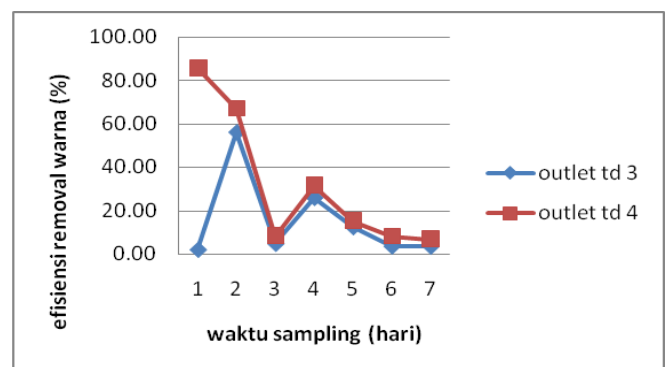
mengalir dengan lancar sehingga proses koagulasi dan flokulasi dapat berjalan dengan optimal. Efisiensi removal pv pada reaktor td 4 terbesar terdapat pada hari ke 5 dengan efisiensi mencapai 86,5%. Sedangkan efisiensi terkecil pada hari ke 1 sebesar 32,7%.

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa trend untuk efisiensi removal zat organik mengalami penurunan, hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan koagulan FeCl₃ untuk meremoval kandungan zat organik pada air baku tidak cukup baik. Pada gambar tersebut terlihat efisiensi removal terbesar pada outlet reaktor dengan td 3 berada pada hari 1 dengan efisiensi sebesar 46,83%. Efisiensi terendah terletak pada hari ke 3 dengan removal sebesar 1,11%.

Reaktor dengan waktu detensi pada media 4 menit memiliki efisiensi removal mencapai 54,10% pada hari ke 2 dan efisiensi terendah mencapai 4,1% pada hari ke 6. Trend yang menurun pada 2 reaktor tersebut dapat terjadi karena reaktor yang digunakan belum dikuras atau dibersihkan dengan optimal, sehingga flok-flok yang terbentuk dari proses koagulasi dan flokulasi masih tersisa. Proses flokulasi menggunakan gravel bed flocculator memiliki kendala yang dapat terjadi yaitu tertutupnya bed oleh flok, sehingga kemungkinan bakteri dapat tumbuh dalam bed. Bakteri yang tumbuh pada bed dapat mengakibatkan bertambahnya zat organik. Pembersihan dan pengurasan secara berkala diperlukan untuk mencegah hal tersebut. Ukuran pori juga memegang peranan penting terhadap penyisihan zat organik. Hal tersebut juga yang menyebabkan zat organik masih dapat lolos dari sludge blanket, karena ukuran zat organik lebih kecil daripada ukuran pori dari sludge blanket.



Gambar. 5. Efisiensi Removal Al₂(SO₄)₃ terhadap Warna



Gambar. 6. Efisiensi Removal FeCl₃ terhadap Warna

Pada Gambar 5 dapat dilihat efisiensi removal untuk warna dengan menggunakan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dan td pada media 3 menit memiliki nilai efisiensi terendah sebesar 1,2% pada hari pertama dan memiliki efisiensi removal terbesar sebesar 72,1% pada hari ke-7. Pada hari ke-4 terjadi penurunan yang drastis untuk efisiensi removal warna, hal tersebut dapat terjadi karena kandungan zat organik yang tinggi pada sampel dan penyaringan yang belum maksimal sehingga partikel tersuspensi belum tersaring dengan sempurna. Pada Gambar 4.11 juga dapat dilihat efisiensi removal warna pada reaktor td 4 terbesar terdapat pada hari ke 7 dengan efisiensi mencapai 72,1%. Sedangkan efisiensi terkecil pada hari ke 4 sebesar 54,9%. Efisiensi removal warna pada reaktor td 4 terbesar terdapat pada hari ke 7 dengan efisiensi mencapai 73,2%. Sedangkan efisiensi terkecil pada hari ke 4 sebesar 54,9%. Pada hari ke-4 terjadipenurunan efisiensi removal karena zat organik yang terkandung banyak, karena warna sangat dipengaruhi oleh zatorganik. Pada dua variabel yaitu waktu detensi pada media sebesar 3 menit dan 4 menit terjadi peningkatan trend, hal tersebut menandakan bahwa koagulan $Al_2(SO_4)_3$ baik digunakan untuk meremoval warna. Pada reaktor td 3 dan 4 efisiensi removal terbesar pada hari ke 7, hal tersebut dapat terjadi karena flok yang terbentuk dari proses koagulasi dan flokulasi berfungsi sebagai penyaring(klarifikasi). Dengan banyaknya flok yang berfungsi sebagai penyaring maka warna akan tersisihkan dengan maksimal. Air pada masing-masing titik sampling dengan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dapat dilihat pada lampiran B No.14.

Pada Gambar 6 terlihat bahwa efisiensi removal warna dengan koagulan $FeCl_3$ dan td 3 menit pada media memiliki efisensi terendah sebesar 1,88% pada hari pertama dan efisiensi terbesar pada hari ke-2 dengan 55,98%. Efisiensi removal warna untuk rekator dengan waktu detensi 4 menit adalah 6,7% untuk yang terendah dan 85,79% yang tertinggi. Terjadi penurunan efisiensi pada hari ke-3 karena air yang diuji memiliki kandungan zat organik yang tinggi. Pada gambar tersebut terlihat trend yang menurun untuk efisiensi removal warna dengan menggunakan koagulan $FeCl_3$. Trend yang menurun tersebut dapat terjadi karena reaktor bekerja tidak cukup optimal. Pengurusan pada bagian gravel bed tidak dilakukan dengan maksimal, hal tersebut menyebabkan bakteri tumbuh dan mengakibatkan peningkatan zat organik. Zat organik tersebut yang mengakibatkan nilai warna juga semakin tinggi. Hal tersebut juga dapat mengakibatkan flok yang terbentuk juga kurang sempurna karena kemampuan adsorpsi pada media juga menurun. Adanya kontaminan yang masuk ke dalam reaktor maupun air sampel juga dapat mempengaruhi. Koagulan $FeCl_3$ juga memberikan warna kuning pada air sehingga akan mempengaruhi hasil analisa. Penurunan warna terjadi akibat muatan positif yang diberikan ke dalam air, sehingga terjadi proses netralisasi dan adsorpsi partikel warna dalam air. Muatan positif berasal dari koagulan tawas yang diberikan dalam air baku, sehingga partikel koloid yang bermuatan negatif dapat ternetralisasi lalu akan membentuk flok dan dapat mengendap.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Koagulan yang memiliki efisiensi removal rata-rata terbesar pada unit *gravel bed flocculator* adalah $Al_2(SO_4)_3$ dengan efisiensi removal rata-rata untuk warna mencapai 65,9% dan efisiensi removal rata-rata untuk zat organik mencapai 63,8%. Sedangkan efisiensi removal rata-rata dengan menggunakan $FeCl_3$ untuk warna sebesar 31,81% dan zat organik mencapai 22,83%.
2. Berdasarkan segi biaya, koagulan yang paling ekonomis digunakan pada unit *gravel bed flocculator* adalah $Al_2(SO_4)_3$ dengan biaya sebesar Rp 2160,- / hari.
3. Waktu tinggal (td) yang memiliki efisiensi removal terbesar pada unit *gravel bed flocculator* adalah 4 menit dengan efisiensi removal rata-rata untuk warna sebesar 65,9%, sedangkan untuk parameter zat organik efisiensi removal rata-rata mencapai 63,8%. Untuk td 3 efisiensi removal rata-rata untuk warna mencapai 49% dan zat organik mencapai 48,3%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Notodarmodjo, S., Astuti, A.dan Juliah, A. 2004. *Kajian Unit Pengolahan Menggunakan Media Berbutir dengan Parameter Kekeruhan,TSS,Senyawa Organik dan pH*. ITB Sains&Tek. Vol.36 A. No.2. hal. 97-115.
- [2] Masschelein, W.J 1992. *Unit Process in Drinking Water Treatment*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- [3] Stumm, W. G. Dan Morgan, J. J. 1996. *Aquatic Chemistry*. Second Edition. John Wiley dan Sons Inc. Singapura.
- [4] Puteri, A.R. 2011. *Studi Penurunan Kekeruhan Air Kali Surabaya dengan Proses Flokulasi dalam Bentuk Flokulator Pipa Circular*. Skripsi Teknik Lingkungan. FTSP-ITS. Surabaya.
- [5] Putri, D.E. 2012. *Studi Perbandingan Efektifitas Penggunaan Koagulan Aluminium Dan Besi Untuk Penurunan Kekeruhan Dan Warna Dengan Sistem Kontinyu Dalam Pengolahan Air Minum*. Laporan Tugas Akhir Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [6] Masduqi, A. dan Slamet, A. 2002. *Buku Ajar Satuan Operasi*. Jurusan Teknik Lingkungan. FTSP-ITS. Surabaya.
- [7] Hamzani, S. 2013. *Proses Koagulasi Dan Flokulasi Menggunakan Gravel Bed Flocculator Untuk Pengolahan Air Sungai Martapura Di Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan*. Tesis Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [8] Alaerts, G dan Simestri, S. 1984. *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya.