

**PENYISIHAN BESI-MANGAN, KEKERUHAN DAN WARNA
MENGUNAKAN SARINGAN PASIR LAMBAT DUA TINGKAT
PADA KONDISI ALIRAN TAK JENUH
STUDI KASUS: AIR SUNGAI CIKAPUNDUNG**

***DEGRADATION OF IRON-MANGANESE, TURBIDITY AND COLOR
USING DOUBLE STAGE SLOW SAND FILTER
DURING UNSATURATED FLOW CONDITION
CASE STUDY: CIKAPUNDUNG RIVER WATER***

Nisaul Makhmudah¹ dan Suprihanto Notodarmojo²

Program Studi Teknik Lingkungan,
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl Ganesha 10 Bandung
40132

¹nisaul_makhmudah@yahoo.com dan ²suprihanto@tl.itb.ac.id

Abstrak: Sistem penyaringan pasir lambat merupakan salah satu proses paling awal yang digunakan untuk menghilangkan kontaminan dari permukaan air untuk menghasilkan air minum. Karena kesederhanaan, efisiensi dan keekonomisannya, menjadikan saringan pasir lambat sebagai sarana pengolahan air yang tepat, khususnya bagi pemenuhan kebutuhan air masyarakat di negara-negara berkembang. Saringan pasir lambat (SPL) beroperasi pada tingkat filtrasi sangat rendah ($0,1 \text{ mL jam}^{-1}$) dan menggunakan pasir yang sangat halus ($0,2 \text{ mm}$). Pada Saringan Pasir Lambat, proses pemisahan kotoran dari air baku terjadi melalui kombinasi beberapa proses yang berbeda seperti (1) mechanical straining, (2) adsorpsi, (3) sedimentasi dan (4) aktivitas biologis serta bio-kimia pada lapisan schmutzdecke. Pada penelitian ini air baku dialirkan menuju saringan pasir lambat dua tingkat dengan kondisi aliran tak jenuh. Kondisi tak jenuh dapat meningkatkan proses aerasi dan biologis yang terjadi pada proses filtrasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui performansi kinerja dari saringan pasir lambat dua tingkat dalam menyisihkan parameter Besi, Mangan, kekeruhan dan warna yang terkandung dalam air Sungai Cikapundung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa saringan pasir lambat ini memiliki efisiensi penyisihan Fe sebesar 77,08 %, Mn sebesar 89,3 %, kekeruhan sebesar 78,96 %, dan warna sebesar 52 %.

Kata kunci: Saringan Pasir Lambat, dua tingkat, air minum, schmutzdecke, aliran tak jenuh, Sungai Cikapundung, Efisiensi penyisihan

Abstract : A slow sand filtration system is one of the earliest processes used for removing contaminants from surface waters to produce drinking water. Slow sand filters because of their simplicity, efficiency and economy are appropriate means of water treatment, particularly for community water supply in developing countries. Slow sand filters (SSF) operate at very low filtration rates (0.1 mL h^{-1}) and using very fine sand (0.2 mm). The overall removal of impurities associated with the process of filtration, is brought by a combination of different processes. The most important of which are (1) mechanical straining, (2) adsorption, (3) sedimentation, (4) chemical and biological activities in schmutzdecke layer. In this research, double stage slow sand filtration was operated in unsaturated flow condition. The objective of this research is to determine the performance of double stage slow sand filter during unsaturated flow condition in reducing iron, manganese, turbidity and color that contained in Cikapundung river water. The results showed that slow sand filter has a removal efficiency: 77.08% of Fe, 89.3 % of Mn, 78.96% of turbidity, and 52 % of color.

Keyword: Slow Sand Filtration, double stage, drinking water, schmutzdecke, unsaturated flow, Cikapundung river, removal efficiency

1. PENDAHULUAN

Filtrasi merupakan proses pengolahan air dimana air dipisahkan dari koloid dan zat pengotor yang dikandungnya, jumlah bakteri berkurang dan karakteristik kimia air tersebut berubah, dengan cara melewatkannya melalui media berpori. Filtrasi merupakan proses pengolahan air dengan cara mengalirkan air baku melewati suatu media *filter* (lapisan berpori) yang disusun dari bahan-bahan butiran dengan diameter dan tebal tertentu. Lapisan berpori ini dapat terdiri dari bermacam-macam bahan, seperti granular (kerikil), pasir, batuan kecil, antrasit, pecahan kaca, abu. Dalam pemurnian air minum, pasir hampir selalu digunakan khusus sebagai penyaring karena ketersediaannya, harganya murah dan bermanfaat (Huisman, 1975).

Sistem penyaringan pasir lambat merupakan salah satu proses paling awal yang digunakan untuk menghilangkan kontaminan dari permukaan air untuk menghasilkan air minum (Rachwal et al., 1986 dalam Taweel dan Ali, 1999). Karena kesederhanaan, efisiensi dan keekonomisannya, maka saringan pasir lambat menjadi sarana pengolahan air yang tepat, khususnya untuk pemenuhan kebutuhan air masyarakat di negara-negara berkembang (Visscher, 1988 dalam Taweel dan Ali 1999).

Dalam saringan pasir lambat, air mengalir berdasarkan gravitasi melalui lapisan pasir halus dengan kecepatan rendah. Untuk kondisi rata-rata harian diperlukan kecepatan filtrasi sekitar $0,1\text{—}0,4\text{ m}^3/\text{m}^2/\text{jam}$ (kecepatan rendah). Dengan lapisan filter tersusun dari pasir halus dengan diameter efektif antara $0,15\text{—}0,35\text{ mm}$ materi suspensi dan koloid dari air baku akan tertahan di lapisan teratas filter yang dapat menimbulkan penyumbatan. Hal ini menyebabkan filter dibersihkan agar berfungsi seperti kapasitas semula dengan membuang/mengangkat lapisan kotor penyumbat (kotoran) sedalam satu sampai beberapa sentimeter (Huisman, 1975).

Pada saringan pasir lambat, proses pemisahan kotoran dari air baku terjadi melalui kombinasi beberapa proses yang berbeda seperti (1) *mechanical straining*, (2) adsorpsi, (3) sedimentasi, dan (4) aktivitas biologis serta bio-kimia. *Mechanical straining* adalah proses pemisahan partikel tersuspensi yang mempunyai ukuran terlalu besar untuk dapat melewati ruang antar butir pasir. Adsorpsi sederhana disebabkan oleh tumbukan antara partikel tersuspensi dengan butiran pasir, lapisan *schmutzdecke* berbentuk gelatin lekat (agar-agar) yang terbentuk pada butir pasir oleh bakteri dan partikel koloid. Proses sedimentasi terjadi dimana partikulat tersuspensi dengan ukuran yang lebih halus dari bukaan pori-pori antara butir pasir dengan pengendapan pada bagian sisi butir pasir. Bakteri yang terdapat pada lapisan *schmutzdecke* memanfaatkan zat organik yang terkandung dalam air baku sebagai sumber makanan. Penguraian ini dapat menurunkan kadar zat organik dalam air olahan.

Dalam penelitian ini digunakan saringan pasir lambat dengan aliran tak jenuh. Dilihat dari kondisi kadar airnya, aliran air dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

- Aliran dalam kondisi jenuh (*saturated*)
- Aliran dalam kondisi tidak jenuh (*unsaturated*)

Perbedaan utama dari aliran dalam kondisi jenuh dan tidak jenuh adalah pada nilai permeabilitasnya. Pada tanah homogen, nilai permeabilitas atau dalam hal ini adalah konduktivitas hidrolis, dianggap konstan. Hal ini tidak terjadi pada aliran tidak jenuh, dimana konduktivitas hidrolis tergantung dari kadar air. Aliran dalam kondisi tidak jenuh yang terjadi dalam zona aerasi (zona tidak jenuh) menjadi penting, karena dalam zona tersebut terjadi reaksi intensif antara kontaminan atau pencemar dengan partikel tanah, karena tanah pada zone permukaan umumnya lebih reaktif. Selain itu,

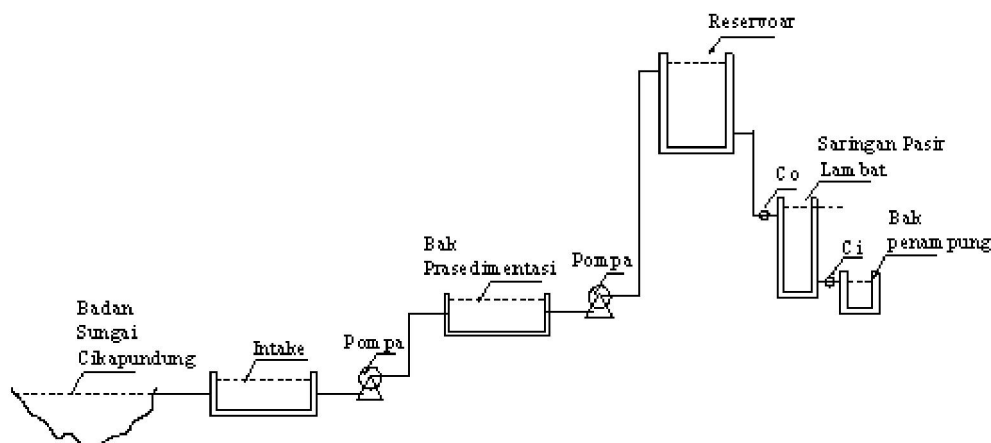
proses biologis juga secara intensif terjadi pada zone itu, terutama proses-proses aerobik, walau tidak berarti dalam daerah jenuh air tidak terjadi proses biologis yang intensif (Suprihanto, 2005).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan reaktor saringan pasir lambat dua tingkat dalam aliran tak jenuh untuk menyisihkan parameter Besi (Fe)-Mangan (Mn), kekeruhan, dan warna yang terkandung dalam air Sungai Cikapundung.

2. METODOLOGI

Metoda pengambilan sampel

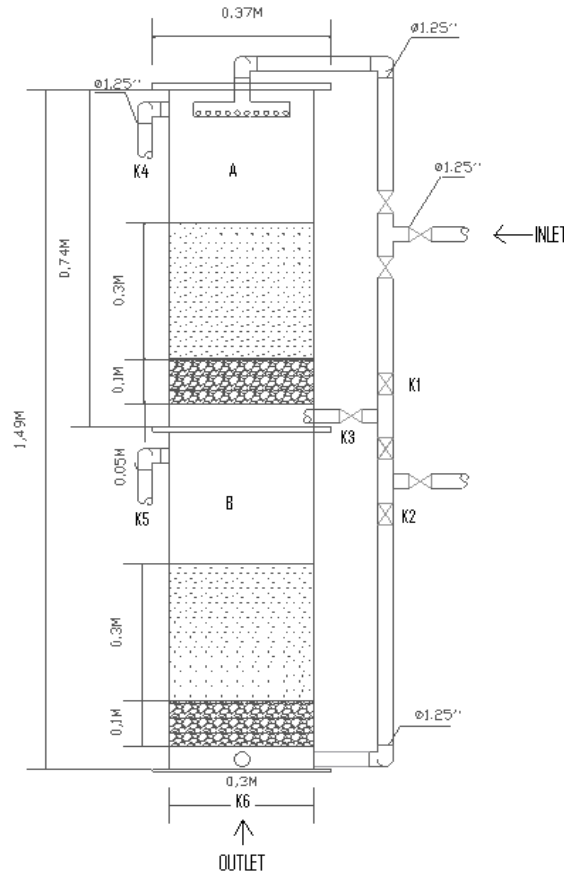
Metode sampling yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel sesaat (*grab sample*) yaitu sampel diambil langsung dari keran reaktor pada saat tertentu. Pengambilan sampel dilakukan sejak tanggal 20 April 2009 hingga tanggal 19 Juni 2009. Air baku yang digunakan dalam penelitian ini merupakan air sungai Cikapundung, dimana air disadap menggunakan bangunan intake yang berada di Sabuga, kemudian dipompa menuju bak prasedimentasi. Setelah itu, air kembali dipompa menuju reservoir, lalu dialirkan secara gravitasi menuju reaktor dengan debit influen terkontrol, yaitu berkisar 1 liter/menit. air baku (C_o) dan air terolah (C_i) dari reaktor ditampung dalam botol kosong untuk kemudian dilakukan analisa fisika dan kimia di laboratorium. Mekanisme pengolahan air Sungai Cikapundung ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Instalasi Pengolahan Air Sungai Cikapundung di Sabuga

Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini merupakan reaktor saringan pasir lambat dua tingkat, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Skema Reaktor Saringan Pasir Lambat Dua Tingkat

Gambar 2 menunjukkan reaktor saringan pasir lambat yang dibuat dua tingkat dengan ketinggian total reaktor 1,45 m dan diameter 0,3 m. Media filter yang digunakan merupakan pasir silika terdegradasi, yaitu lapisan silika (0,2 mm) setebal 0,3 m diatas lapisan silika (0,35 mm) setebal 0,1 m. Air baku dialirkan melewati media filter dengan mekanisme aliran tak jenuh (*unsaturated*). Reaktor saringan pasir lambat tersebut dioperasikan secara berkala (*intermittent*) selama 5 jam sehari, dimana setiap harinya reaktor beroperasi pukul 09.00 dan berakhir pada pukul 14.00.WIB.

Pengukuran dan Analisa Data

Analisis laboratorium dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Parameter berikut dianalisis adalah:

- Besi, diukur menggunakan metode Thiocyanat – colorimetri (SNI 03-6854-2002)
- Mangan, diukur menggunakan persulfat – colorimetri (SNI 03-6855-2002)
- Kekeruhan, diukur menggunakan turbidimeter dengan satuan NTU (*nephelometric turbidity units*) (SNI M-03-1989-F)
- Warna , diukur menggunakan colorimetri dengan satuan unit Pt-Co (SNI M-03-1989-F)

Untuk mengetahui efisiensinya dapat dihitung dengan membandingkan influent dan effluent dinyatakan dalam persen perhitungan efisiensi pada **Persamaan 1**.

$$E = \frac{Co - Ci}{Co} \times 100\% \quad \text{(Persamaan 1)}$$

Dimana :

E : efisiensi

C : konsentrasi

Data akhir diolah dan disajikan dalam bentuk grafik konsentrasi dan efisiensi penyisihan dari masing-masing parameter.

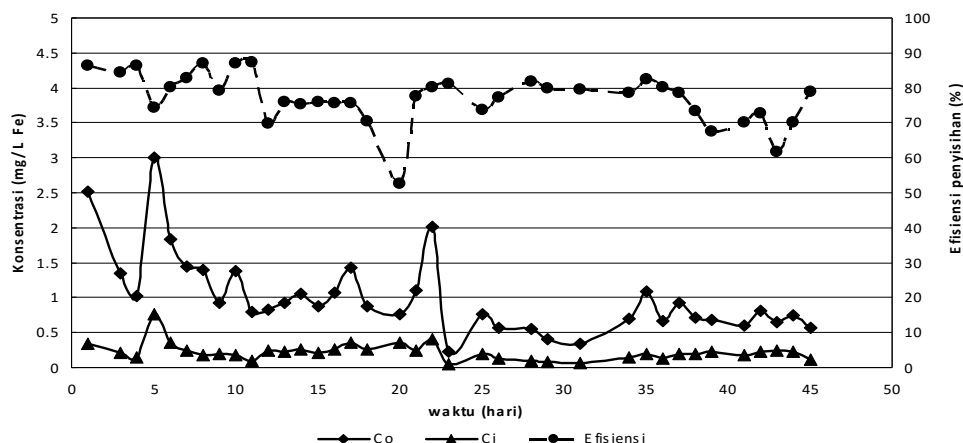
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Air Sungai Cikapundung memiliki karakteristik yang fluktuatif. Sumber pencemar kualitas air Sungai Cikapundung teridentifikasi dari tiga sumber, yaitu (1) limbah domestik, (2) limbah industri farmasi, dan (3) limbah padat (sampah) (Hidayat, 2003 dalam Bahri, 2004). Ketiga sumber pencemar tersebut memberikan kontribusi dalam menentukan kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam air. Keberadaan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) juga menjadi salah satu parameter yang mempengaruhi kondisi kekeruhan dan warna dari air Sungai Cikapundung.

Besi (Fe) dan Mangan (Mn)

Pada umumnya air di alam mengandung besi dan mangan disebabkan adanya kontak langsung antara air tersebut dengan lapisan tanah yang mengandung besi dan mangan. Adanya besi dan mangan dalam jumlah yang berlebih dalam air dapat menimbulkan berbagai masalah diantaranya adalah tidak enak rasanya air minum, dapat menimbulkan endapan dan menambah kekeruhan (Sawyer, 1967)

Berdasarkan hasil penelitian, konsentrasi Fe pada air Sungai Cikapundung sebelum dan setelah diolah menggunakan saringan pasir lambat, dapat dilihat pada **Gambar 3**.

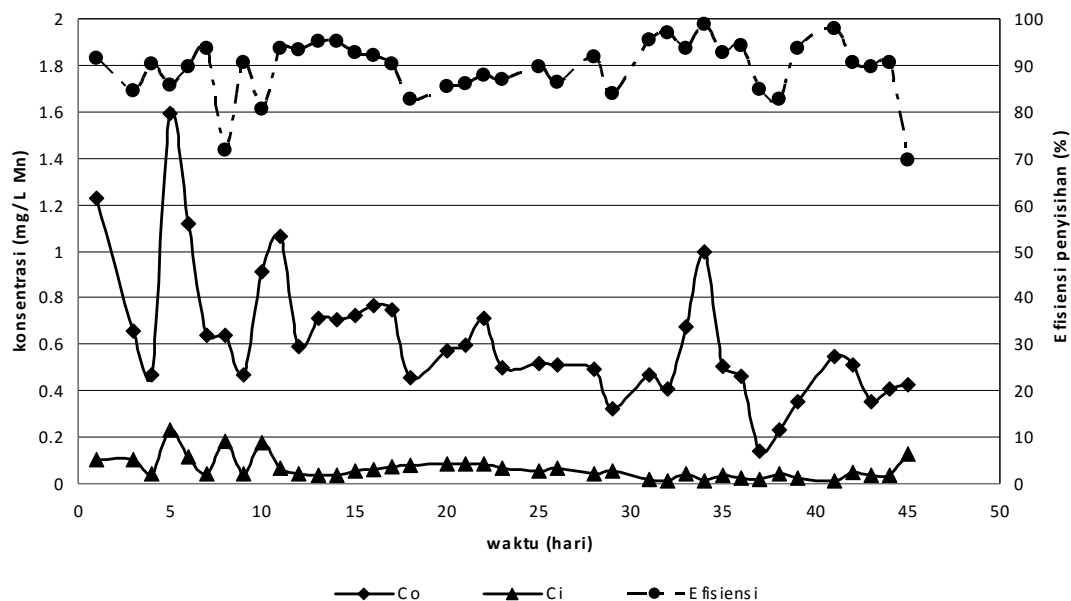


Gambar 3. Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Fe

Gambar 3 menunjukkan bahwa, kadar Fe pada air baku sebelum mengalami pengolahan berkisar antara 0,22 – 3 mg/L Fe. Setelah mengalami pengolahan menggunakan reaktor saringan pasir lambat, kadar Fe pada air mengalami penurunan, yaitu berkisar antara 0,042—0,77 mg/L Fe. Efisiensi penyisihan Fe dari reaktor saringan pasir lambat dua tingkat adalah 77.08 %.

Pada air yang tidak mengandung O_2 seperti air tanah, besi berada sebagai Fe^{2+} yang cukup dapat terlarut, sedangkan pada air sungai yang mengalir dan terjadi aerasi, Fe^{2+} teroksidasi menjadi Fe^{3+} , Fe^{3+} ini sulit larut dalam pH 6 sampai 8 (kelarutannya hanya dibawah beberapa $\mu g/l$), bahkan dapat menjadi ferihidroksida $Fe(OH)_3$, atau salah satu jenis oksida yang merupakan zat padat dan bisa mengendap. Demikian dalam air sungai, besi berada sebagai Fe^{2+} , Fe^{3+} terlarut dan Fe^{3+} dalam bentuk senyawa organik berupa koloidal.

Berdasarkan hasil penelitian, konsentrasi Mangan pada air Sungai Cikapundung sebelum dan setelah diolah menggunakan saringan pasir lambat, dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik Konsentrasi dan Penyisihan Mn

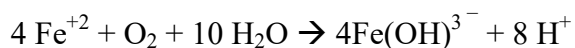
Gambar 4 menunjukkan bahwa, kadar Mn pada air baku sebelum diolah, berkisar antara 0,14 – 1,6 mg/L Mn. Setelah mengalami pengolahan menggunakan saringan pasir lambat, kadar Mn pada air mengalami penurunan, yaitu berkisar antara 0,012-0,228 mg/L Mn. Efisiensi penyisihan Mn oleh reaktor berkisar antara 89,3 %.

Mangan dalam air dapat di temukan dalam bentuk Mn^{2+} (bivalent mangan) dan Mn^{4+} (quadrivalent mangan). Mn dengan bervalensi tinggi sukar larut dalam air, sedangkan Mn bervalensi dua mempunyai sifat mudah larut dalam air dan tidak stabil bila bertemu dengan oksigen (mudah teroksidasi).

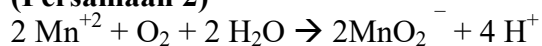
Dalam proses penyisihan Fe dan Mn, mekanisme yang banyak berperan adalah proses aerasi. Pada saringan pasir lambat, aerasi terjadi karena adanya proses turbulensi aliran saat air melewati pori-pori media filter. Aerasi digunakan untuk menyisihkan gas yang terlarut di air permukaan atau untuk menambah oksigen ke air untuk mengubah substansi yang di permukaan menjadi suatu oksida. Tidak seperti saringan pasir lambat

pada umumnya, dalam penelitian ini saringan pasir lambat dioperasikan dalam kondisi aliran tak jenuh (*unsaturated*), sehingga dalam pengoperasiannya, tidak terdapat komponen supernatan atau genangan air di atas media pasir. Pada kondisi tak jenuh, hanya sebagian dari pori yang terisi air, sedangkan selebihnya berisi udara. Kondisi ini memberikan keuntungan berupa peningkatan daya kontak air baku dengan udara, saat air melewati pori-pori pasir. Pada proses aerasi inilah proses oksidasi terjadi. Selain itu, peningkatan proses aerasi pada saringan pasir lambat ini terjadi akibat filtrasi terjadi dalam dua tingkat, sehingga effluen dari media filter pertama mengalami proses reaerasi pada media filter kedua.

Dalam keadaan teroksidasi, besi dan mangan terlarut di air. Bentuk senyawa dengan larutan ion, keduanya terlarut pada bilangan oksidasi +2, yaitu Fe^{+2} dan Mn^{+2} . Ketika kontak dengan oksigen atau oksidator lain, besi dan mangan akan teroksidasi menjadi valensi yang lebih tinggi, bentuk ion kompleks baru yang tidak larut dalam jumlah yang cukup besar (**Persamaan 2 dan 3**). Oleh karena itu, mangan dan besi dapat dihilangkan dengan pengendapan (sedimentasi) setelah aerasi. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



(**Persamaan 2**)



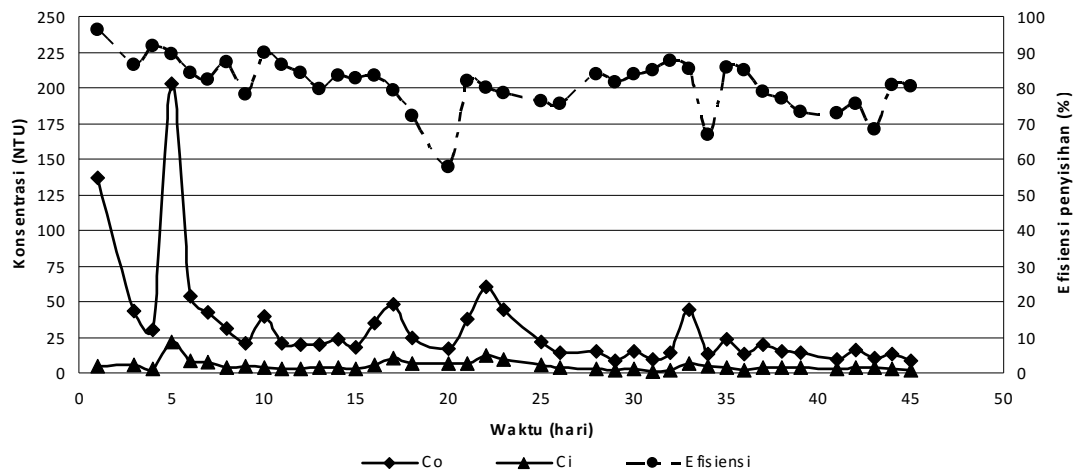
(**Persamaan 3**)

Pada **Persamaan 2 dan 3**, pembentukan Fe^{3+} dan Mn^{4+} dipengaruhi oleh pH. Pada penelitian, pH sampel berkisar antara 6,9—7,9. Pada kondisi pH seperti ini, Reaksi pembentukan Fe^{3+} dapat terjadi dengan cepat (pH optimum 6,9—7,2), sedangkan reaksi pembentukan Mn^{4+} akan berlangsung lambat bila pH dibawah 9,5.

Selain proses aerasi dan sedimentasi, penyisihan kadar Fe dan Mn dalam air dapat terjadi dengan bantuan bakteri besi dan mangan yang terdapat pada *schmutzdecke* pada lapisan permukaan *filter bed*. Bakteri – bakteri ini terdapat pada air baku, dan dapat berkembang biak pada media pasir di bawah kondisi yang mendukung, bakteri – bakteri ini akan mengoksidasi ion bervalensi dua Fe(II) dan Mn(II) dan mempresipitasi ion – ion tersebut ke dalam bentuk ion teroksidasi yaitu Fe^{3+} dan Mn^{4+} (Pacini et al, 2005).

Kekeruhan

Kualitas air dijabarkan dalam Kekeruhan yang dinyatakan dalam satuan NTU – *nephelometric turbidity units*. Semakin banyak padatan tersuspensi dalam air, air terlihat semakin keruh dan semakin tinggi pula nilai NTU. Data penurunan kekeruhan beserta efisiensinya pada saringan pasir lambat dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Grafik Konsentrasi & Efisiensi penyisihan kekeruhan

Gambar 5 menunjukkan bahwa kekeruhan air baku sebelum mengalami pengolahan menggunakan reaktor saringan pasir lambat, berkisar antara 8,25—203 NTU, dan kekeruhan air setelah pengolahan mengalami penurunan yaitu berkisar antara 1,37—21,8 NTU.

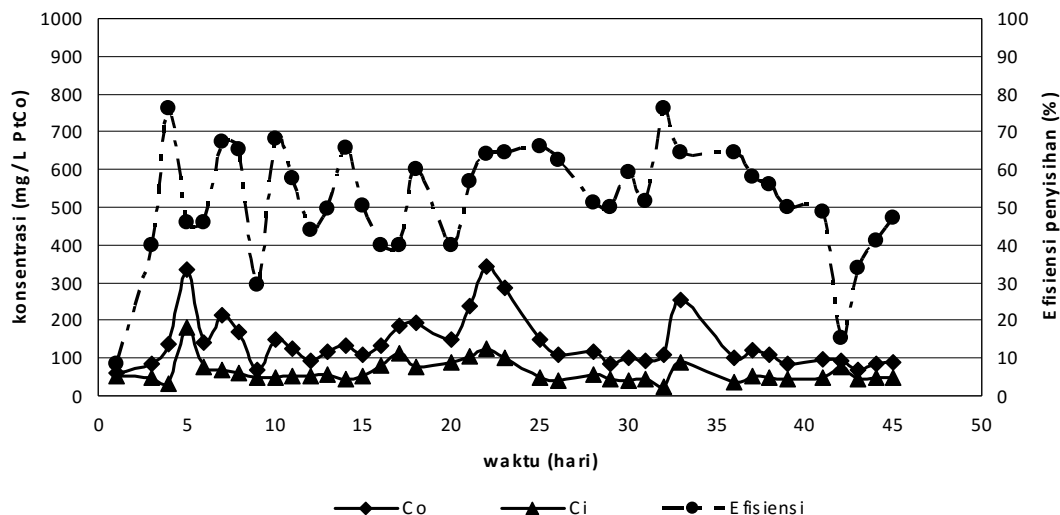
Sungai merupakan air permukaan sehingga kekeruhannya sangat fluktuatif. Selain dipengaruhi oleh kadar limbah yang masuk ke dalam sungai, kekeruhan juga dipengaruhi oleh hujan. Pada saat hujan, maka turbulensi pada air sungai lebih deras, sehingga kekeruhan pada air sungai pun meningkat. Hal ini berpengaruh terhadap beban pengolahan dari saringan pasir lambat yang digunakan. Sebelum mengalami pengolahan, air baku ditampung terlebih dahulu di bak penampung sementara. Pada penampungan sementara ini dapat terjadi proses prasedimentasi dimana partikulat-partikulat berukuran besar dapat terendapkan disini. Dengan adanya proses prasedimentasi, beban pengolahan kekeruhan pada saringan pasir lambat dapat berkurang.

Berdasarkan **Gambar 5**, saringan pasir lambat mampu menyisihkan kekeruhan air baku dengan efisiensi antara 78,96 %. Penyisihan kekeruhan ini terjadi melalui kombinasi *mechanical straining*, sedimentasi dan adsorpsi. Pada proses *mechanical straining*, dalam lapisan suatu saringan pasir terdapat rongga-rongga kecil yang memungkinkan air lewat sebagai aliran dalam tanah. Partikel halus yang tidak dapat lolos dari rongga-rongga ini akan tertahan dan dengan demikian dapat membebaskan air dari kandungan kotorannya. Selain itu juga terjadi mekanisme sedimentasi dan adsorpsi. Rongga antara butiran tanah / pasir akan berlaku sebagai kolam *sedimentasi*, selanjutnya kotoran halus akan mengendap di situ dan tidak akan lolos lagi karena adanya daya adhesi dari butiran tanah / pasir yang mengikat kotoran. Selain itu proses penangkapan kotoran ini dapat pula dipercepat oleh adanya gelatine yang menyelimuti butiran pasir sebagai akibat adanya bakteri atau bahan kimia yang ikut terbawa dalam aliran.

Kekeruhan terjadi karena adanya zat tersuspensi seperti zat organik, lumpur, lempung, plankton, koloid serta zat-zat halus lainnya. Fe^{3+} dan Mn^{4+} merupakan bentuk *presipitat* yang dapat menyebabkan terjadinya kekeruhan. Penyisihan kadar Fe^{3+} dan Mn^{4+} pada air baku dapat memberikan kontribusi pada penyisihan kadar kekeruhan pada air terolah.

Warna

Air minum sebaiknya tidak berwarna untuk alasan estetis dan untuk mencegah keracunan dari berbagai zat kimia maupun mikroorganisme yang berwarna. Secara alamiah air rawa berwarna kuning muda karena adanya tanin, asam humat dan lain-lain (Sawyer, 1967). Data penurunan warna beserta efisiensinya pada saringan pasir lambat dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Grafik Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Warna

Gambar 6 menunjukkan bahwa warna air baku sebelum diolah berkisar antara 59—343 mg/L PtCo dan setelah diolah berkisar antara 26—182 mg/L PtCo. Efisiensi penyisihan warna oleh reaktor saringan pasir lambat sebesar 52 %

Sama halnya dengan parameter air lainnya, warna pada air sungai pun fluktuatif tergantung pada influen yang masuk ke dalam sungai, baik limbah maupun air hujan. Warna perairan ditimbulkan adanya bahan organik dan bahan anorganik, karena keberadaan *plankton*, humus dan ion-ion logam (misalnya besi dan mangan) serta bahan-bahan lain. Bahan-bahan organik, misalnya tanin, lignin, dan asam humus yang berasal dari dekomposisi tumbuhan yang mati menimbulkan warna kecoklatan. Warna kekuning-kuningan pada air baku dapat disebabkan oleh adanya kadar besi dan mangan yang melebihi batas. Diketahui bahwa kadar besi dalam air sungai mencapai 0,22—3 mg/L Fe (**Gambar 3**), dan kadar mangan sebesar 0,14—1,6 mg/L Mn (**Gambar 4**). Kadar besi yang tinggi akan menimbulkan warna kekuningan dan kadar mangan yang tinggi akan menimbulkan warna kecoklatan. Pereduksian kadar besi dan mangan pada air sungai cikapundung, memberikan kontribusi dalam penyisihan kadar warna dalam air tersebut.

Selain akibat penurunan kadar ion-ion logam seperti besi dan mangan, penurunan kadar warna pada air terolah dapat disebabkan karena tereduksinya jumlah zat organik dalam air. Zat organik dalam air baku dimanfaatkan oleh bakteri yang berada lapisan *schmutzdecke* sebagai pelengkap kebutuhan energi yang diperlukan bagi metabolisme dan sebagai bahal sel untuk pertumbuhannya. Zat organik ini akan diuraikan secara perlahan-lahan oleh bakteri menjadi garam-garam anorganik seperti air, karbondioksida, nitrat dan fosfat, sehingga warna akibat zat organik pun dapat tersisihkan.

Efisiensi penyisihan warna terendah (8,5%) terjadi pada hari pertama pengoperasian reaktor, hal ini dapat terjadi karena pada hari pertama pengoperasian reaktor, lapisan *schmutzdecke* belum terbentuk, sehingga mekanisme proses penyisihan warna hanya melalui proses fisik dan kimia saja.

4. KESIMPULAN

Pengolahan air dengan saringan pasir lambat dua tingkat pada kondisi aliran tak jenuh memiliki kehandalan dalam berbagai hal yaitu keefektifan pengolahan dalam meningkatkan kualitas air Sungai Cikapundung. Beberapa parameter yang dapat disisihkan dengan menggunakan unit ini antara lain besi (77,08 %), mangan (89,3 %), kekeruhan (78,96 %) dan warna (52%).

DAFTAR PUSTAKA

- Alaert, G. dan Santika, Sri Sumestri. 1987. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya, Indonesia: Penerbit Usaha Nasional.
- Bahri, Syamsul dan Hidayat, Ratna. 2004. *Analisis Kualitas Air Sungai Dengan Cepat Menggunakan Makrobenthos Studi Kasus Sungai Cikapundung*. Bandung: Pusat Litbang Sumber Daya Air.
- D. L., Baker and W. F., Duke. 2006. *Intermittent Slow Sand Filters for Household Use - A Field Study in Haiti*. London, UK: IWA Publishing: 1-4.
- Fair, Gordon. 1968. *Water and Wastewater Engineering Vol 2. Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal*, New York: John Wiley & Sons, Inc
- Huisman, L. 1975. *Slow Sand Filter*. Netherlands: Delft University of Technology.
- Logsdon, G.S., Kohne, R., Abel, S., and LaBonde, S. 2002. *Slow Sand Filter for Small Water Treatment Systems*, J. Environ. Eng. Sci 1: 339 – 348.
- Notodarmojo, Suprihanto. 2005. *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung. Penerbit ITB.
- Pacini, V.A., Ingallinella, A.M., and Sanguinetti, G. 2005. *Removal of Iron and Manganese Using Biological Roughing Up Flow Filtration Technology*. Water Research, 39 : 4463 – 4475.
- Peavy, S Howard and Rowe, Donald R. 1985. *Environmental Engineering*, Singapore: McGraw- Hill, Inc.
- Reynolds, Tom D. 1982. *Unit Operations and Processes In Environmental Engineering*. California: Wadsworth, Inc.
- R.S, Wotton. 2002. *Water purification using sand*. London , U.K: Department of Biology, University College London. *Hydrobiologia* 469: 193–201
- Taweel, E.G. and Ali, G.H, 1999, *Evaluation Of Roughing And Slow Sand Filters For Water Treatment*. Water, Air, and Soil Pollution, 120: 21–28.
- Torkzaban, Saeed. 2007. *Colloid transport in unsaturated porous media: The role of water content and ionic strength on particle straining*. Contaminant Hydrology 96 : 113–127.
- Sawyer, Clair N and Mc. Carty, Perry L; 1967. *Chemistry for Sanitary Engineering*. Tokyo: Mc Graw-Hill Book Company; Kogakusha Company Ltd.