

Penggunaan Unit *Slow Sand Filter*, Ozon Generator dan *Rapid Sand Filter* Skala Rumah Tangga Untuk Meningkatkan Kualitas Air Sumur Dangkal Menjadi Air Layak Minum (Parameter Zat Organik dan Deterjen)

Anindya Prawita Sari 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: wahyono@enviro.its.ac.id

strak— Air sumur merupakan air tanah yang sering kali digunakan masyarakat untuk aktivitas sehari-hari. Air sumur dengan kadar organik dan deterjen tinggi tidak layak dikonsumsi masyarakat karena dapat menyebabkan berbagai macam penyakit. Selain itu, adanya zat organik dan deterjen mempengaruhi warna dan bau air sumur sehingga tidak layak konsumsi. *Slow sand filter* merupakan unit pengolahan yang mampu meremoval zat organik pada air. *Slow sand filter* dan *rapid sand filter* tidak menggunakan bahan kimia dalam proses pengolahan sehingga lebih ekonomis dan efektif. Sedangkan ozon, efektif digunakan untuk meremoval zat organik yang ada dalam air dengan mengubah rantai zat organik menjadi lebih sederhana. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keefektifan penggunaan *slow sand filter*, ozon generator dan *rapid sand filter* dalam menyingkirkan beban deterjen dan zat organik pada air sumur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi removal pada unit *slow sand filter* untuk beban organik dan deterjen sebesar 57,6% dan 60,5 %, pada unit ozonasi sebesar 47,4% dan 17,5%, dan pada unit *rapid sand filter* sebesar 50,0% dan 50,9 %.

Kata Kunci— *Slow Sand filter*, Ozon, *Rapid Sand Filter*, zat organik, deterjen, air sumur

I. PENDAHULUAN

AKHIR-AKHIR ini salah satu masalah lingkungan yang lebih banyak dipelajari adalah pemulihan air yang terkontaminasi zat organik beracun secara efisien dan ekonomis [1]. Zat organik dalam air baku dapat diremoval menggunakan koagulasi/flokulasi [2], namun dalam beberapa kasus zat organik sangat sulit diremoval menggunakan teknik fisikokimia standar. Sedangkan, zat organik merupakan material yang membawa banyak masalah dalam pengolahan air minum [3]. Zat organik alami merupakan campuran dari bahan organik (zat humat, asam amino, asam *hidro-philic*, karbohidrat, asam amino, asam karboksilat, dll) yang terdapat dalam perairan [4]. Adanya zat organik dalam air minum akan menimbulkan masalah akibat pembentukan trihalometan (THM) dan senyawa terhalogenasi lain selama proses desinfeksi dengan klorin [5].

Adanya zat organik dan deterjen yang belum mencukupi baku mutu menyebabkan air sumur perlu dilakukan pengolahan sebelum dikonsumsi masyarakat. Kandungan zat

organik dan deterjen yang tinggi sangat berbahaya mengingat zat organik dan deterjen merupakan bahan kimia. Untuk melakukan pengolahan, perlu dilakukan penyaringan terlebih dahulu menggunakan *slow sand filter* untuk menurunkan zat organik kemudian dilakukan ozonasi dan difilter lagi menggunakan *sand filter*. Ozonasi dalam penelitian ini digunakan sebagai desinfeksi, diharapkan bakteri yang masih lolos setelah dari unit *slow sand filter* dapat mati dan dapat difilter lagi menggunakan *slow sand filter* untuk menyaring mikroorganisme yang telah mati tersebut. Selain itu, proses ozonasi dapat mengoksidasi zat organik dengan cepat menjadi molekul yang lebih sederhana.

Ozonasi merupakan sebuah metode yang lebih menarik sebagai disinfeksi dibandingkan dengan klorin, selain itu hal ini memenuhi peraturan USEPA (*United States Environmental Protection Agency*). Ozon dan produk reaktif utamanya, terutama radikal bebas hidroksil (OH^\cdot) merupakan pengoksidasi kuat yang dapat melakukan oksidasi yang cukup besar. Namun, ozonasi berpotensi menimbulkan pembentukan potensi berbahaya oleh produk, hal ini dapat diatasi dengan menghilangkan disinfeksi oleh produk itu sendiri atau menggunakan cara lain berupa penghambatan pembentukan melalui penghilangan cikal bakal produk dan teknik pengoptimalkan proses [6].

Proses pengolahan pada penelitian ini yaitu air sumur ditampung dalam bak yang berfungsi sebagai tandon, kemudian dipompa ke tandon atas yang cukup untuk menampung air 25 liter. Tandon atas ini berfungsi untuk menstabilkan kecepatan aliran dan diberi pipa dan stop kran untuk mengalirkan air ke dalam *slow sand filter* dengan debit yang disesuaikan. Reaktor *slow sand filter* ini memiliki aliran *downflow* yang mengalir ke dalam reaktor ozon. Setelah proses ozonasi, air akan dialirkan ke dalam *rapid sand filter* untuk disaring.

II. ALAT DAN BAHAN

A. Reaktor

Reaktor yang digunakan ada 3 macam, yaitu *slow sand filter*, *rapid sand filter* dan *rapid sand filter*. *Slow sand filter*

dan rapid sand filter menggunakan paralon, sedangkan reaktor ozon menggunakan reaktor kaca.

Reaktor slow sand filter menggunakan pipa paralon dengan diameter 25,4 cm, sedangkan reaktor rapid sand filter menggunakan pipa paralon dengan diameter 12,7 cm. Reaktor ini kemudian diisi media pasir dan media penyangga kerikil yang telah diayak. Diameter media pasir untuk reaktor slow sand filter yaitu 0,15-0,30 mm dengan menggunakan ayakan nomor 100 dan 40, sedangkan untuk reaktor rapid sand filter menggunakan diameter media pasir 0,35-0,5 mm menggunakan ayakan nomor 45 dan 35. Kerikil yang digunakan sebagai media penyangga juga dilakukan pengayaan dengan menggunakan ayakan nomor 10 dan 6 yang setara dengan 2,00 mm dan 3,35 mm.

Media yang digunakan untuk slow sand filter diaklimatisasi terlebih dahulu dengan cara merendam media pasir menggunakan air baku selama 2 minggu. Hal ini dimaksudkan untuk menumbuhkan mikroorganisme yang akan membantu proses biofiltrasi. Untuk media rapid sand filter tidak perlu dilakuka aklimatisasi.

Reaktor ozon menggunakan kaca dengan dimensi 20x20x35 cm dengan dua lubang outlet dan satu lubang inlet. Reaktor ini tertutup dengan maksud untuk mengurangi terlepasnya gas hasil ozonasi di dalam reaktor. Lubang outlet pertama setinggi 15 cm dari alas reaktor, sedangkan lubang outlet ke dua setinggi 25 cm dari alas reaktor.

B. Ozone Generator

Ozon generator merupakan alat yang dapat memproduksi ozon menggunakan lucutan listrik yang dapat memecah molekul O_2 menjadi O dan membentuknya kembali menjadi O_3 atau ozon. Ozon generator yang digunakan pada penelitian ini yaitu ozon generator HANACO dengan dosis ozon yang diproduksi sebesar 400 mg/jam.

C. Air Baku

Air baku yang digunakan yaitu air sumur dangkal yang berlokasi di Brebek, Sidoarjo. Kualitas air baku yaitu dengan zat organik dan deterjen sebesar 15,65 mg/l dan 0,32 mg/l. Air baku belum memenuhi baku mutu bila dibandingkan dengan PERMENKES No.492/MENKES/PER/IV/2010 dengan zat organik dan deterjen maksimum yang diperbolehkan yaitu sebesar 10 mg/l dan 0,05 mg/l. Kondisi air baku yang digunakan berjarak 4 meter dari septictank dan 6 meter dari sungai Butung sehingga semakin besar peluang untuk terjadi kontaminasi.

D. Analisis Parameter

Untuk analisis parameter zat organik dan deterjen, pada penelitian ini menggunakan analisis permanganat (PV) dan MBAS.

III. METODE PENELITIAN

A. Media Filtrasi

Media yang digunakan untuk proses filtrasi *slow sand filter*

dan *rapid sand filter* yaitu pasir hitam atau pasir lumajang. Diameter pasir yang digunakan untuk unit *slow sand filter* yaitu 0,13-0,30 mm sedangkan untuk diameter pasir *rapid sand filter* yaitu 0,35-0,5 mm. Diameter pasir yang digunakan mempengaruhi rate filtration pada unit yang digunakan, sehingga perlu dilakukan pengayakan sebelum menggunakan media pasir. Pengayakan ini dilakukan dengan menggunakan nomor ayakan yang sesuai. Selain itu, kerikil yang digunakan untuk penyangga media filtrasi perlu diayak guna untuk menyesuaikan diameter pasir yang digunakan sehingga pasir dapat tertahan dan tidak terbawa air saat proses filtrasi. Diameter kerikil yang digunakan untuk media penyangga unit *slow sand filter* dan *rapid sand filter* yaitu 2,00-3,35 mm.

B. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang dilakukan yaitu analisis kadar organik pada air sumur, hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik air baku sehingga perlakuan pengolahan dapat disesuaikan dengan karakteristik dengan air baku. Air yang digunakan sebagai air baku adalah air sumur dengan kadar organik tinggi di Brebek, Sidoarjo. Penelitian meliputi pemeriksaan kadar deterjen dan zat organik dalam air sumurs. Kadar deterjen dianalisa dengan menggunakan MBAS dan kadar organik dengan analisa permanganat (MnO_4). Penelitian pendahuluan terhadap air baku dengan melakukan ozonisasi 10 liter air selama 15 menit dan 25 menit.

Hasil penelitian pendahuluan yang telah dilakukan yaitu untuk zat organik dan deterjen pada air baku sebesar 15,65 mg/l dan 0,32 mg/l. Menurut baku mutu PERMENKES No.492/MENKES/PER/IV/2010, maksimal zat organik dan deterjen pada air minum yang diperbolehkan yaitu 10 mg/l dan 0,05 mg/l. Hasil penelitian ini sebagai bukti bahwa air baku yang digunakan mengandung zat organik dan deterjen yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan baku mutu air minum.

Alat yang digunakan untuk proses ozonasi yaitu ozone generator HANACO. Alat ini kemudian diteliti dosis ozon yang dapat diproduksi dalam satu menit. Analisa dosis ozon ini menggunakan metode iodometri menggunakan larutan KI. Larutan KI 2% akan diinjeksi dengan ozon yang dihasilkan oleh ozone generator kemudian larutan KI teroksidasi menjadi berwarna kuning. Setelah itu ditambahkan dengan asam sulfat dan dititrasi dengan sodium thiosulfat. Setelah dianalisa, dosis ozon yang dihasilkan oleh ozon generator selama satu menit yaitu sebesar 0,702 mg/menit. Dosis ozon ini tidak sesuai dengan dosis yang tertera pada alat yaitu 400 mg/jam sedangkan setelah dianalisa dosis ozon yang diproduksi hanya 42,11 mg/jam.

C. Dosis Ozon

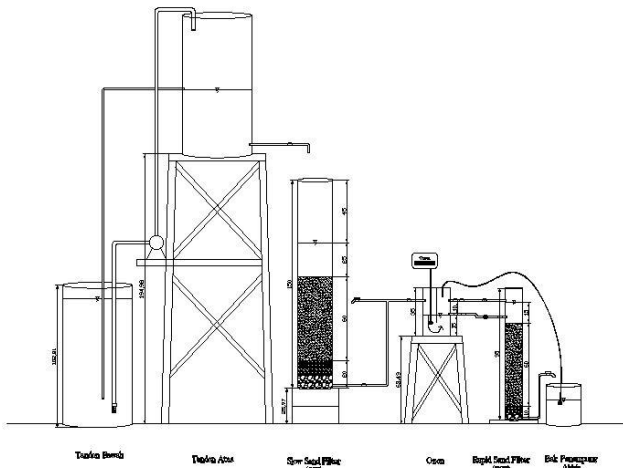
Alat yang digunakan untuk proses ozonasi yaitu ozone generator HANACO. Alat ini kemudian diteliti dosis ozon yang dapat diproduksi dalam satu menit. Analisa dosis ozon ini menggunakan metode iodometri menggunakan larutan KI. Larutan KI 2% akan diinjeksi dengan ozon yang dihasilkan oleh ozone generator kemudian larutan KI teroksidasi menjadi berwarna kuning. Setelah itu ditambahkan dengan asam sulfat dan dititrasi dengan sodium thiosulfat. Setelah dianalisa, dosis

ozon yang dihasilkan oleh ozon generator selama satu menit yaitu sebesar 0,702 mg/menit. Dosis ozon ini tidak sesuai dengan dosis yang tertera pada alat yaitu 400 mg/jam sedangkan setelah dianalisa dosis ozon yang diproduksi hanya 42,11 mg/jam.

D. Proses Penelitian

Proses penelitian dilakukan selama 10 hari running unit slow sand filter, ozon dan rapid sand filter. Lima hari pertama, penelitian dilakukan dengan running rate filtration pada unit slow sand filter 0,5 m³/m².jam, ozonisasi selama 15 menit dan 25 menit dan rate filtration rapid sand filter 1,2 m³/m².jam. Sedangkan untuk lima hari berikutnya dengan rate filtration pada unit slow sand filter 0,3 m³/m².jam, ozonisasi selama 25 menit dan 40 menit dan rate filtration rapid sand filter 2 m³/m².jam.

Sampel yang diambil sebanyak 9 sampel untuk satu kali running. Tiga sampel pertama sebagai kontrol yaitu tidak menggunakan proses ozonisasi, pengambilan sampel kedua pada saat 15 menit ozonisasi pada rate filtration unit slow sand filter 5 m³/m².jam dan rapid sand filter 1,2 m³/m².jam, dan untuk sampel ke tiga sama dengan sampel ke dua dengan proses ozonisasi 25 menit. Pengambilan sampel untuk rate filtration unit slow sand filter 0,3 m³/m².jam sama dengan pengambilan sampel pada rate filtration 0,5 m³/m².jam, perbedaan hanya pada lama ozonisasi yaitu 25 menit dan 40 menit. Set up reaktor dapat dilihat pada Gambar. 1.



Gambar. 1. Set Up Reaktor

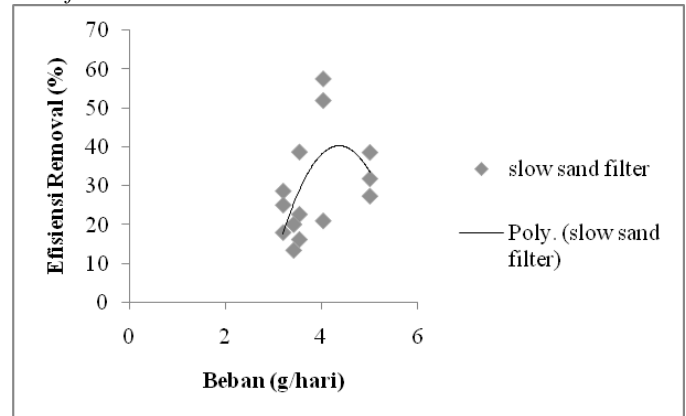
IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa dibahas dalam bentuk beban, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan pemahaman dikarenakan air baku yang digunakan dalam penelitian ini berbeda setiap harinya. Hasil penelitian dianalisa dengan parameter zat organik dan deterjen sebagai berikut :

A. Hasil Analisa Zat Organik Variasi Rate filtration 0,3 m³/m².jam

Kemampuan slow sand filter dalam meremoval zat organik berbeda setiap harinya. Namun, dari data yang telah didapatkan dapat diketahui bahwa semakin lama digunakan,

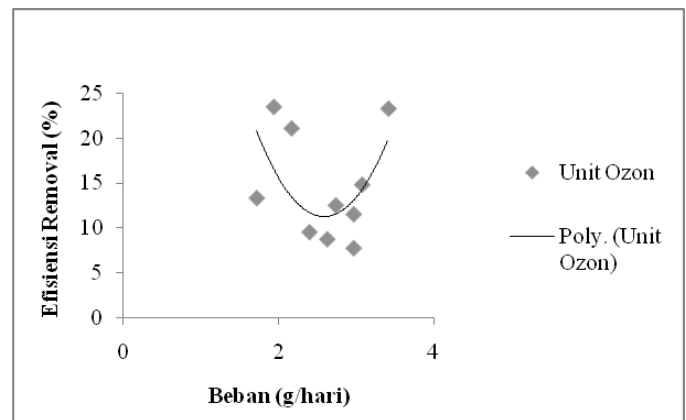
efisiensi removal slow sand filter cenderung semakin besar. Naik turunnya efisiensi removal pada unit slow sand filter dipengaruhi oleh beban air baku yang masuk dalam unit slow sand filter.



Gambar. 2. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Slow Sand Filter 0,3 m³/m².jam

Pada Gambar 2, efisiensi removal terbaik pada grafik unit slow sand filter ini yaitu sebesar 60% dengan baban 300 mg/hari.

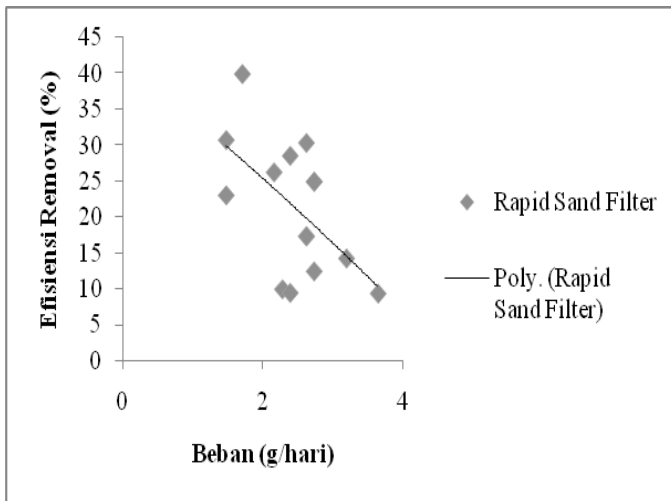
Untuk ozonisasi, beban zat organik yang diturunkan untuk waktu ozonisasi 40 menit lebih baik dibandingkan dengan waktu ozonisasi 25 menit. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu ozonisasi, semakin lama waktu kontak ozon dengan zat organik sehingga semakin banyak senyawa organik yang dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana.



Gambar. 3. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Ozon 0,3 m³/m².jam

Pada Gambar 2, bentuk pada grafik untuk unit slow sand filter yaitu melengkung ke bawah dengan arah yang berbeda dari grafik unit slow sand filter hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi removal maka beban yang diremoval semakin kecil. Efisiensi removal terbaik pada unit ini yaitu sebesar 110 mg/hari dengan efisiensi removal 13%.

Setelah melewati rapid sand filter, beban organik terbesar yang dapat diturunkan yaitu sebesar 40,0% dari besar beban organik 1,71 g/hari menjadi 1,02 g/hari. Hal ini disebabkan karena beban berada dalam batasan sedang, yaitu tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah sehingga efisiensi rapid sand filter lebih optimal.



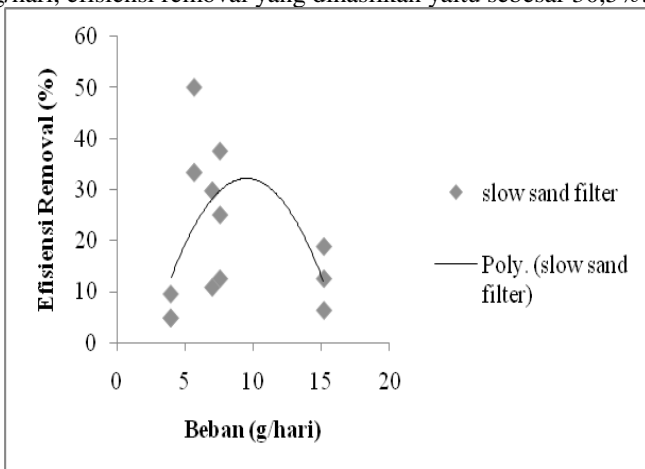
Gambar 4. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Rapid Sand Filter 0,3 m³/m².jam

Pada Gambar 3, bentuk grafik untuk *rapid sand filter* ini mirip dengan garis linier. Arah garis ini ke kanan atas yang menunjukkan bahwa antara beban dan efisiensi removal berbanding lurus. Efisiensi removal terbaik yaitu sebesar 20% dengan beban 140 mg/hari.

B. Hasil Analisa Zat Organik Variasi Rate filtration 0,5 m³/m².jam

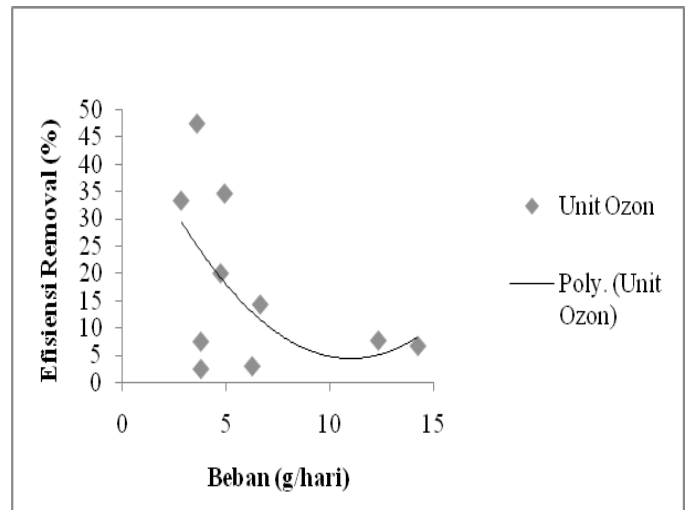
Pada unit *slow sand filter*, zat organik dalam air baku cenderung menurun. Efisiensi removal zat organik terbaik setelah melalui unit *slow sand filter* yaitu sebesar 50,0% dengan beban zat organik 5,69 g/hari menjadi 2,84 g/hari. Grafik hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 5., Gambar 6., dan Gambar 7.

Pada Gambar 5., terdapat titik klimaks pada grafik ini. Titik klimaks ini menandakan efisiensi removal unit *slow sand filter* paling optimal. Dapat dilihat pada grafik, pada beban 10 g/hari, efisiensi removal yang dihasilkan yaitu sebesar 30,5%.



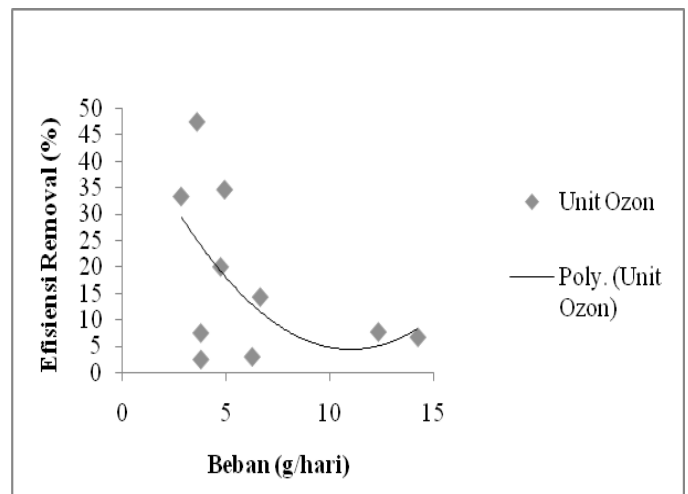
Gambar 5. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Slow Sand Filter 0,5 m³/m².jam

Pada Gambar 6. grafik pada unit ozon mengalami penurunan dan mengalami keadaan efisiensi paling buruk. Hal ini dapat dilihat dari bentuk grafik yang menurun dengan lengkungan di bawah. Efisiensi removal terbaik yaitu sebesar 29% dengan beban 2,5 g/hari.



Gambar . 6. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Ozon 0,5 m³/m².jam

Pada Gambar 7, menandakan efisiensi removal terkecil yang dihasilkan oleh unit ini. namun, untuk efisiensi removal terbaik yaitu sebesar 39% dengan besar beban 2 g/hari.



Gambar 7. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Rapid Sand Filter 0,5 m³/m².jam

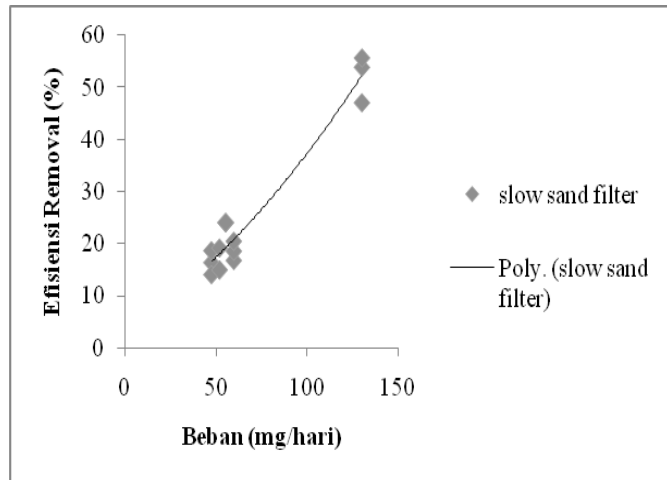
C. Hasil Analisa Deterjen Variasi Rate filtration 0,5 m³/m².jam

Setelah melalui unit *slow sand filter*, efisiensi removal terbaik adalah sebesar 55,6% dengan beban 130 mg/hari menjadi 57,78 mg/hari. Hal ini menandakan bahwa *slow sand filter* dapat bekerja optimal apabila meremoval deterjen dengan beban yang cukup tinggi pada rate filtration 0,3 m³/m².jam.

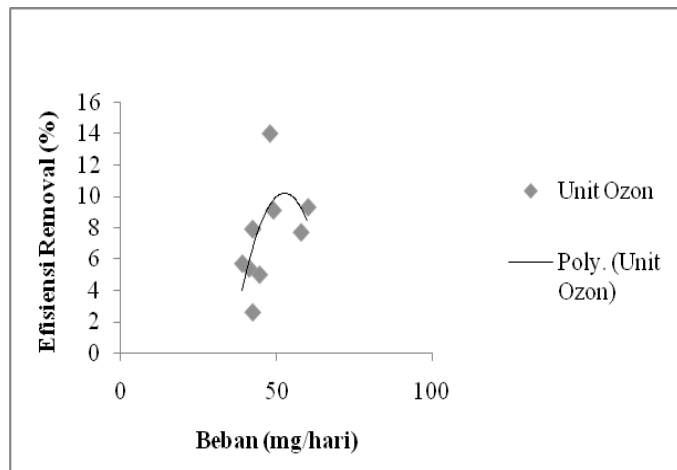
Pada Gambar 8., menunjukkan bahwa hubungan antara beban dan efisiensi removal menunjukkan hubungan yang sebanding. Apabila beban naik, maka efisiensi removal juga akan mengalami kenaikan. Pada grafik ini,efisiensi removal terbaik yaitu 55% dengan beban 140 mg/ hari.

Pada Gambar 9, menunjukkan bahwa efisiensi removal memiliki prosentase optimum sebesar 10% dengan beban 52 mg/hari. Namun terdapat lengkungan ke bawah yang

menandakan efisiensi removal menurun dengan beban yang semakin besar.

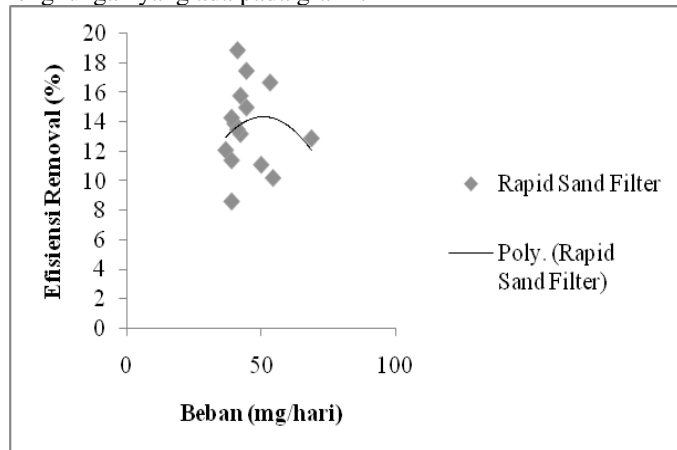


Gambar. 8. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Slow Sand Filter 0,3 m³/m².jam



Gambar. 9. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Ozon 0,3 m³/m².jam

Pada Gambar 10, unit *rapid sand filter* mengalami efisiensi removal optimum sebesar 14,5% dengan beban 50 mg/hari. Hal ini ditunjukkan dengan adanya titik klimaks dari lengkungan yang ada pada grafik.

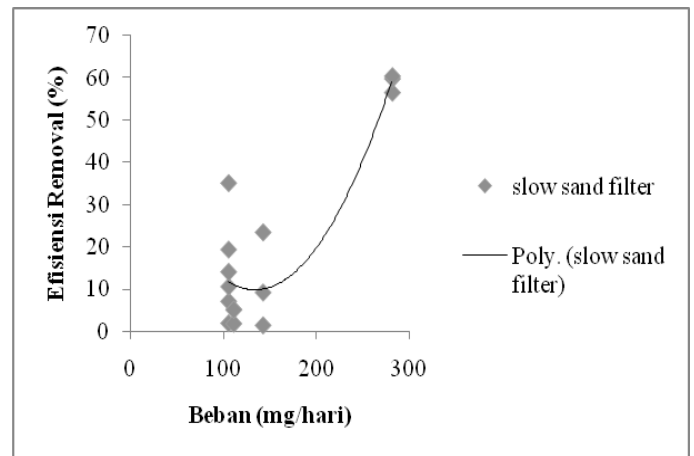


Gambar. 10. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Rapid Sand Filter 0,3 m³/m².jam

D. Hasil Analisa Deterjen Variasi Rate filtration 0,3 m³/m².jam

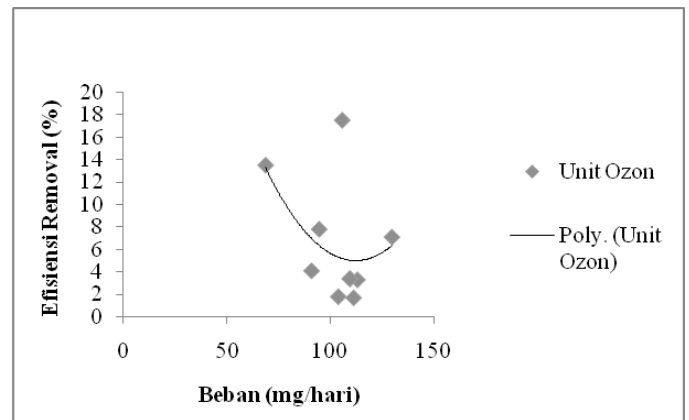
Pada unit *rapid sand filter*, efisiensi removal terbaik dalam mevemental deterjen yaitu sebesar 18,9 % dengan beban 41,11 mg/hari menjadi 33,33 mg/hari. Hal ini menandakan bahwa unit *rapid sand filter* dapat meremoval deterjen dengan baik pada beban 41,11 mg/hari.

Gambar 11., menandakan bahwa efisiensi removal semakin meninggi dengan beban yang besar. Namun pada titik tertentu terdapat penurunan efisiensi removal dengan beban yang semakin besar. Hal ini dapat dilihat dari lengkung grafik yang melengkung ke bawah. Efisiensi removal terbaik pada grafik unit *slow sand filter* ini yaitu sebesar 60% dengan baban 300 mg/hari.



Gambar. 11. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Slow Sand Filter 0,3 m³/m².jam

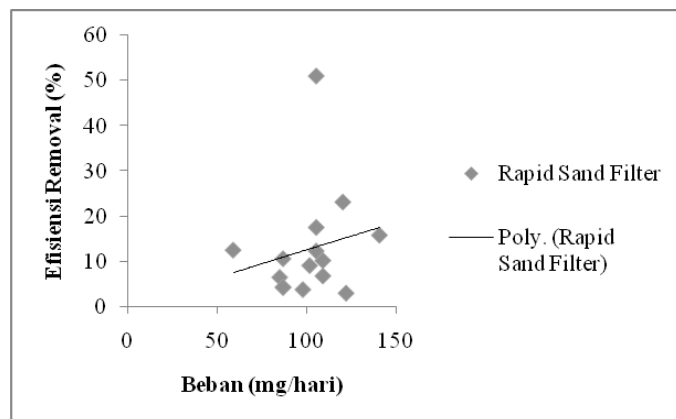
Pada Gambar 11., menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi removal maka beban yang diremoval semakin kecil. Lengkung ke bawah pada grafik ini menunjukkan bahwa dengan beban yang besar, efisiensi removal sangat kecil. Efisiensi removal terbaik pada unit ini yaitu sebesar 110 mg/hari dengan efisiensi removal 13%.



Gambar. 12. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Ozon 0,3 m³/m².jam

Pada Gambar 12., arah garis ini ke kanan atas yang menunjukkan bahwa antara beban dan efisiensi removal berbanding lurus. Semakin besar beban maka semakin besar

efisiensi removal yang dihasilkan. Efisiensi removal terbaik yaitu sebesar 20% dengan beban 140 mg/hari.



Gambar. 13. Hubungan Beban dan Efisiensi Removal pada Unit Rapid Sand Filter 0,3 m³/m².jam

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Untuk unit *slow sand filter* dalam meremoval zat organik yaitu efisien pada beban 4,3 g/hari sebesar 43% dan untuk meremoval deterjen efisien dengan baban 300 mg/hari sebesar 60%.
- 2) Unit ozon dapat meremoval zat arganik secara efektif pada beban 2,5 g/hari dengan efisiensi removal 29% dan untuk deterjen dengan beban 110 mg/hari sebesar 13%.
- 3) Unit *rapid sand filter* ini dapat disimpulkan dapat meremoval beban organik secara efektif pada beban 2 g/hari sebesar 39% dan beban deterjen 140 mg/hari dengan efisiensi removal 20%.

Dari penelitian di atas, didapatkan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

- 1) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengganti *rapid sand filter* dengan *slow sand filter*.
- 2) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai dosis ozon yang efektif untuk menguraikan zat organik dan deterjen.
- 3) Perlu dilakukan penelitian mengenai *slow sand filter* menggunakan diameter media pasir lebih kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., dan Hassell, D.G. 2009. *A Review On Anaerobic-Aerobic Treatment Of Industrial And Municipal Wastewater*. Chemical Engineering Journal, 155: 1-18.
- [2] Sharp, E. L., Parsons, S. A., dan Jefferson, B. 2006. *Seasonal Variations In Natural Organic Matter And Its Impact On Coagulation In Water Treatment*. Science of The Total Environment, 363 (1-3): 183-194.
- [3] Korth, A., Fiebriger, C., Bornmann, K., dan Schmidt, W. 2004. *NOM Increase In Drinking Water Reservoirs—Relevance For Drinking Water Production*. Water Science Technology: Water Supply 4: 55-60.
- [4] Croue, J. P., Debroux, J. F., Amy, G. L., Aaiken, G. R., Leenheer, J. A. 2000. *Natural Organic Matter: Structural Characteristics And Reactive Properties*. In: Singer PC, editor. Formation and control of disinfection by-products in drinking water. Denver: American water work association. P. 65-117.

- [5] Pontius, F. W. 1999. *Regulations Of Disinfection By-Products*. In: Singer PC editor. Formation and control of disinfection by-products in drinking water. Denver: American Water Work Association. P: 139-59.
- [6] Marhaba., T. F. dan Bengraïne., K. 2003. *Review of Strategies for Minimizing Bromate Formation Resulting from Drinking Water Ozonation*. Clean Techn Environ Policy 5 (2003) 101-112.