

UNJUK KERTA *TRAY BIOREACTOR* DENGAN MEDIA PENYANGGA BATU ANDESIT DALAM MENINGKATKAN KUALITAS AIR OLAHAN PARAMETER COD DAN TSS PADA IPAL KOMUNAL

Tray Bioreactor Performance Using Andesit Stone As A Supporting Media To Improving Processed Water Quality Parameter of COD and TSS in Decentralized Wastewater Treatment Plant

Hifni Imamnoor Rosidin¹, Awaluddin Nurmiyanto², Lutfia Isna Ardhayanti³

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Tekni Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia.

Email: hifniimam@gmail.com¹, awaluddin@uii.ac.id², lutfia.isna@uii.ac.id³

ABSTRAK

Berdasarkan data dari Badan Lingkungan Hidup Provinsi DIY (2016), dari 41 IPAL Komunal di Daerah Istimewa Yogyakarta 63% IPAL belum memenuhi baku mutu untuk parameter COD, 95% tidak memenuhi baku mutu parameter BOD dan 100% belum ada yang memenuhi standar parameter TSS. Sehingga menyebabkan kondisi *effluent* air limbah domestik IPAL di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta masih belum memenuhi baku mutu terutama untuk parameter *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solid* (TSS). Sehingga diperlukan pengolahan lanjutan pada IPAL Komunal terhadap air limbah sebelum dibuang ke badan air. *Tray bioreactor* dengan menggunakan batu andesit sebagai media penyangga untuk penyisihan COD dan TSS dibuat dengan menerapkan sistem dan prinsip kerja yang diadaptasi dari reaktor DHS. *Tray bioreactor* mengolah air *effluent* dari IPAL sebelum dibuang ke badan air. *Tray bioreactor* memiliki performa untuk meremoval COD hingga 39,46% dan TSS hingga 44,47% dengan waktu tinggal air limbah reaktor yaitu 4 jam. Berbagai faktor memiliki pengaruh terhadap performa dari *tray bioreactor*, diantaranya seperti distribusi air limbah, pembentukan dan penyebaran biofilm, pompa air dan selang air. Terbukti jika batu andesit dapat menyisihkan kandungan COD dan TSS pada air limbah saat dimanfaatkan sebagai media penyangga.

Kata kunci: *Tray Bioreactor, Limbah, IPAL Komunal, COD, TSS, DHS*

ABSTRACT

Based on data from the DIY Provincial Environment Agency (2016), from 41 Communal WWTPs in Yogyakarta Special Region 63% of WWTPs have not meet quality standards for COD parameters, 95% do not meet the quality standards of BOD parameters and 100% have not met TSS parameter standards.. Therefore, the domestic wastewater effluent conditions in the Special Region of Yogyakarta still do not meet the quality standards, especially for Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD) and Total Suspended Solid (TSS) parameters. So that further processing is needed on the Communal WWTP for wastewater before being discharged into the water body. Tray bioreactor using andesite stone as a buffer medium for COD and TSS removal is made by applying the system and working principles adapted from the DHS reactor. The bioreactor tray treats effluent water from the WWTP before being discharged into the water body. Tray bioreactor has a performance for COD remodeling up to 39.46% and TSS up to 44.47% with only 4 hours hydraulic retention time. Various factors have an influence on the performance of the tray bioreactor, including waste water distribution, biofilm formation and distribution, water pumps and water hoses. It is proven that andesite stones can remove COD and TSS content in wastewater when used as a buffer media.

Key word: *Tray Bioreactor, Wastewater, Communal WWTPs, COD, TSS, DHS*

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari Badan Lingkungan Hidup Provinsi DIY (2016), yaitu dari 41 IPAL Komunal di Daerah Istimewa Yogyakarta 63% IPAL belum memenuhi baku mutu untuk parameter COD, 95% tidak memenuhi baku mutu parameter BOD dan 100% belum ada yang memenuhi standar parameter TSS. Dengan adanya permasalahan tersebut, maka perlu adanya pengembangan suatu teknologi Sistem Pengolahan Air Limbah (SPAL) salah satunya dalam bentuk *post treatment unit*. Sehingga nantinya air limbah yang dibuang atau dialirkan ke badan sungai dapat memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan.

Menurut Tandukar (2007) bahwa sistem reaktor *Down Flow Hanging Sponge* (DHS) oksigen yang digunakan dalam proses pengolahan air limbah dipasok atau didapatkan secara langsung dari atmosfer. Dijelaskan pula oleh Kubota (2014) mengenai *Down Flow Hanging Sponge* bahwa pada penerapannya DHS memiliki performa dan kemampuan yang baik dalam mengolah air limbah. Dijelaskan oleh Mahmoud (2011) dimana reaktor DHS ini memiliki prinsip yang hampir sama dengan *tricking filter*, dengan mengembangkan poliuretan dalam mengolah air limbah. Ada banyak keuntungan yang dimiliki oleh reaktor *Down Flow Hanging Sponge*, diantaranya yaitu memiliki waktu tinggal lumpur yang lebih tinggi (SRT), konsentrasi biomassa yang lebih tinggi, waktu tinggal (HRT) yang relatif rendah. Selain itu dijelaskan juga oleh Bitton (1994) Sistem DHS menggunakan filter dengan media yang digunakan yaitu spons dalam suatu tabung reaktor yang dipergunakan untuk menjaga agar mencegah terjadinya kontaminasi debu ataupun partikulat lain yang dapat mengganggu kinerja reaktor. Karakteristik dari DHS itu sendiri berupa penggabungan panjang suatu lumpur aktif (100 hari) dengan HRT singkat yaitu 2 jam pada kinerja bioreaktor tersebut. (Tawfiq, 2005)

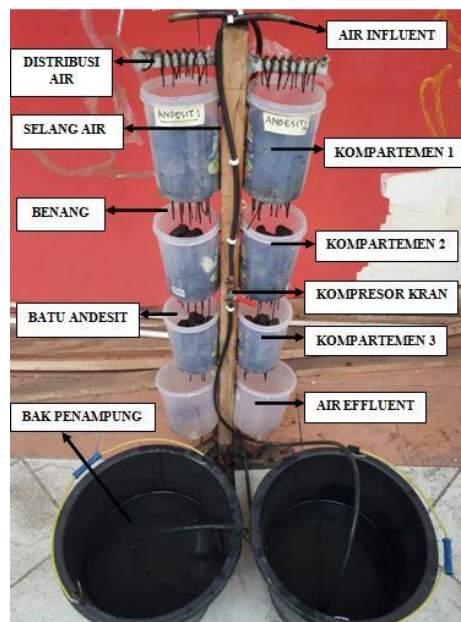
Dengan menerapkan prinsip kerja dari sistem teknologi *Down Flow Hanging Sponge* (DHS) dalam bentuk modifikasi sederhana *tray bioreactor*, maka penelitian ini akan meneliti unjuk kerja dari batu andesit sebagai media dalam reaktor pertumbuhan terlekat untuk pengolahan air limbah domestik secara biologis. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi *Down Flow Hanging Sponge* (DHS) menjadi teknologi yang lebih sederhana yaitu berupa *tray bioreactor*. Adapun media penyangga yang digunakan dalam *tray bioreactor* yaitu batu andesit, dimana batu tersebut diambil di sekitar gunung merapi, Sleman, DIY. Pemilihan batu andesit sebagai media penyangga pada teknologi ini dikarenakan batu andesit memiliki luas permukaan silika yang besar karena banyaknya pori yang dimilikinya. Silika memiliki kemampuan menyerap yang besar terhadap molekul-molekul

air (Edwin, 2014). Banyaknya pori pada batuan andesit juga dapat digunakan sebagai media melekatnya bakteri yang berperan untuk pengolahan air limbah dalam reaktor. Air limbah yang nantinya akan diolah didalam reaktor berasal dari air effluent IPAL Mendiro yang masih belum memenuhi baku mutu.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam pengujian kandungan COD dan TSS dalam penelitian ini yaitu SNI 6989.2: 2009 dan SNI 06-6989.3: 2004. Sedangkan untuk sampling yang dilakukan pada air limbah mengacu pada SNI 6989.59:2008. Selain pengujian parameter COD dan TSS, parameter air limbah lain yang diuji yaitu DO, pH, suhu dan kekeruhan.



Gambar 1. *Tray Bioreactor* Sederhana dengan Skala Laboratorium

Terdapat 2 unit *tray bioreacotor* yang digunakan dengan masing-masing terdapat 3 unit kompartemen dengan volume 1 liter. Untuk wadah influent air limbah digunakan wadah ember berukuran 30 liter. Sedangkan untuk mengatur debit pengolahan air limbah digunakan kran kompresor serta pompa dan selang air untuk mendistribusikan air limbah. Air limbah dialirkan secara kontinyu.

2.2 Seeding dan Aklimatisasi

Sebelum tahap aklimatisasi dilakukan, terlebih dahulu batu andesit yang menjadi media penyangga dalam *tray bioreactor* di *seeding* terlebih dahulu. *Seeding* dilakukan agar mempercepat proses pembentukan biofilm pada media batu andesit. Proses *seeding* dilakukan dengan metode

batch. Dimana batu andesit direndam dengan 5 liter lumpur aktif dari tangki aerasi IPAL Sewon Bantul selama ± 2 jam dan ditambahkan oksigen yang berasal dari aerator. Sedangkan aklimatisasi dilakukan selama 84 hari dengan waktu debit 0,0000125 m³/menit dan HRT 4 jam. Parameter COD, pH, dan suhu diamati selama aklimatisasi.

2.3 Running Tray Bioreactor

Running dilakukan pada operasional hari ke 85, yaitu selama 12 hari dengan 10 kali pengecekan parameter uji. Pada saat running digunakan debit 0,0000125 m³/menit dengan HRT 4 jam. Selama proses running dilakukan pengecekan COD, TSS, DO, pH, suhu dan kekeruhan.

2.4 Analisis Data

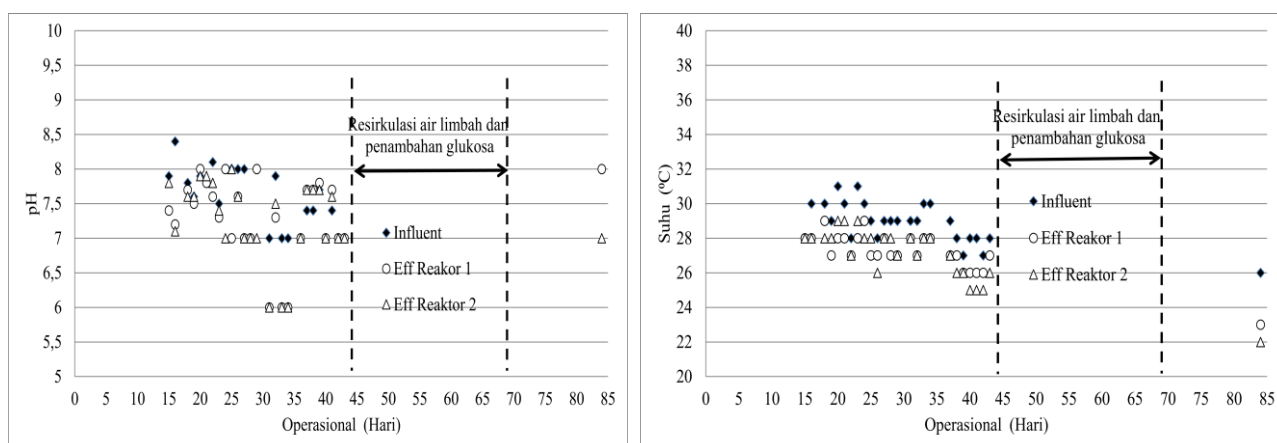
Analisis data menggunakan metode pengujian COD dan TSS dalam penelitian ini yaitu SNI 6989.2: 2009 dan SNI 06-6989.3: 2004. Dari hasil pengujian akan diperoleh selisih nilai atau persentase penyisihan konsentrasi parameter uji pada air influent dan effluent dari *tray bioreacotor*.

$$\% \text{Removal} = \frac{\text{Influent} - \text{Effluent}}{\text{Influent}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Analisis mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi performa *tray bioreacotor* juga dilakukan agar dapat diketahui kendala dan solusi dari permasalahan yang ada pada *tray bioreaktror*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

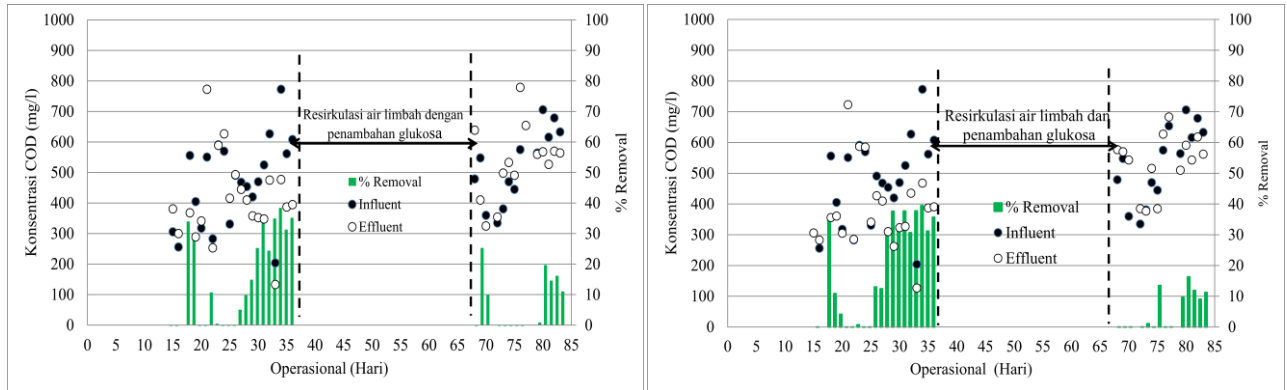
3.1. Aklimatisasi



Gambar 2. pH dan Suhu pada Tahap Aklimatisasi

Nilai pH dan suhu pada saat tahap aklimatisasi tidak dilakukan pengontrolan. Untuk pH dan suhu menyesuaikan dengan kondisi yang ada di lingkungan sekitar, sehingga tidak dilakukan

pengontrolan. Nilai suhu rata-rata pada influent yaitu 29°C sedangkan pada effluent yaitu 27°C. Untuk nilai pH influent rata-rata yaitu 7,9 dan untuk rata-rata pH pada effluent reaktor 1 dan 2 yaitu 7,6 dan 7,5.

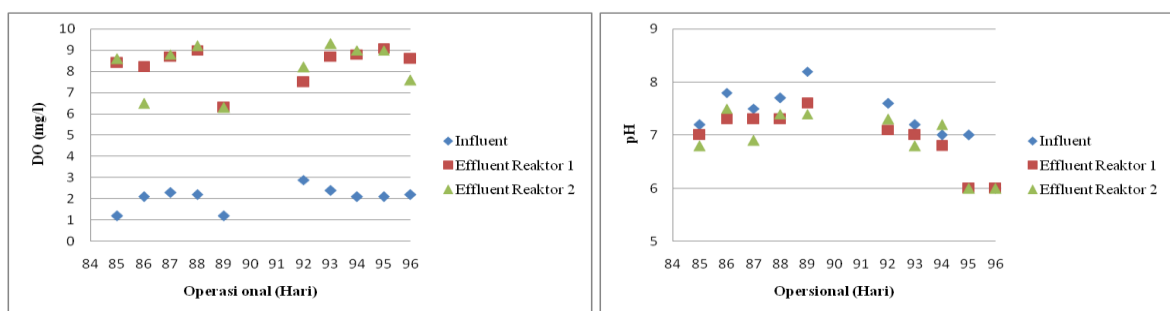


Gambar 3. Tahap aklimatisasi pada reaktor 1 dan 2

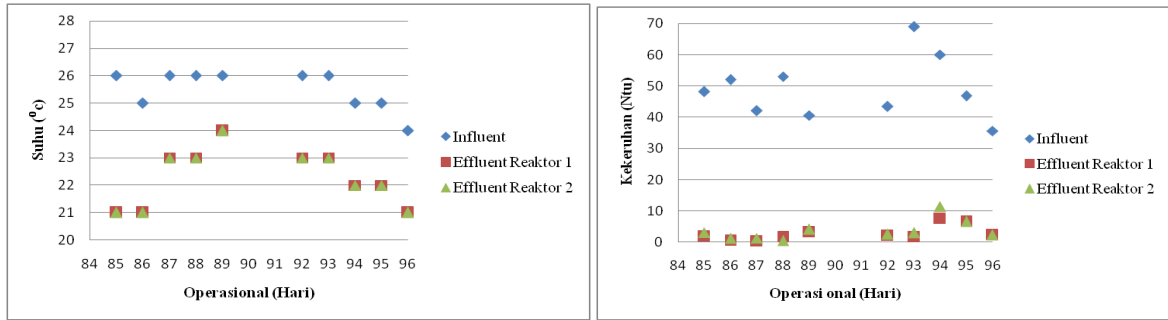
Efisiensi kedua reaktor dalam meremoval konsentrasi COD dalam air limbah dapat dilihat pada gambar diatas. Aklimatisasi dimulai pada saat operasi hari ke 1 sampai dengan hari ke 84. Performa reaktor dalam meremoval kandungan COD pada air limbah kurang stabil dikarenakan persentase removal yang mengalami naik dan turun. Pada reaktor 1 removal tertinggi COD yaitu sebesar 38,29% sedangkan pada reaktor 2 removal tertinggi COD yaitu sebesar 39,46%. Namun setelah penambahan cairan gula pada air limbah pada saat dilakukan resirkulasi pada operasinal hari ke 37-67 performa dari kedua reaktor menjadi berkurang. Hal tersebut diakibatkan terjadinya *shock loading rate* pada mikroorganismenya yang ada didalam reaktor (pada lapisan biofilm). Sehingga reaktor batu direndam dalam air limbah lagi dan reaktor dibersihkan dari endapan-endapan yang ada dalam reaktor. Sehingga performa reaktor kembali baik namun hanya bisa meremoval kurang dari 20%.

3.2 Kualitas Air

Pengecekan kualitas air limbah diuji pada saat dilakukan proses *running* pada reaktor. Kualitas air yang diuji ditinjau dari beberapa parameter, yaitu DO, pH, suhu dan kekeruhan dengan data sebagai berikut.



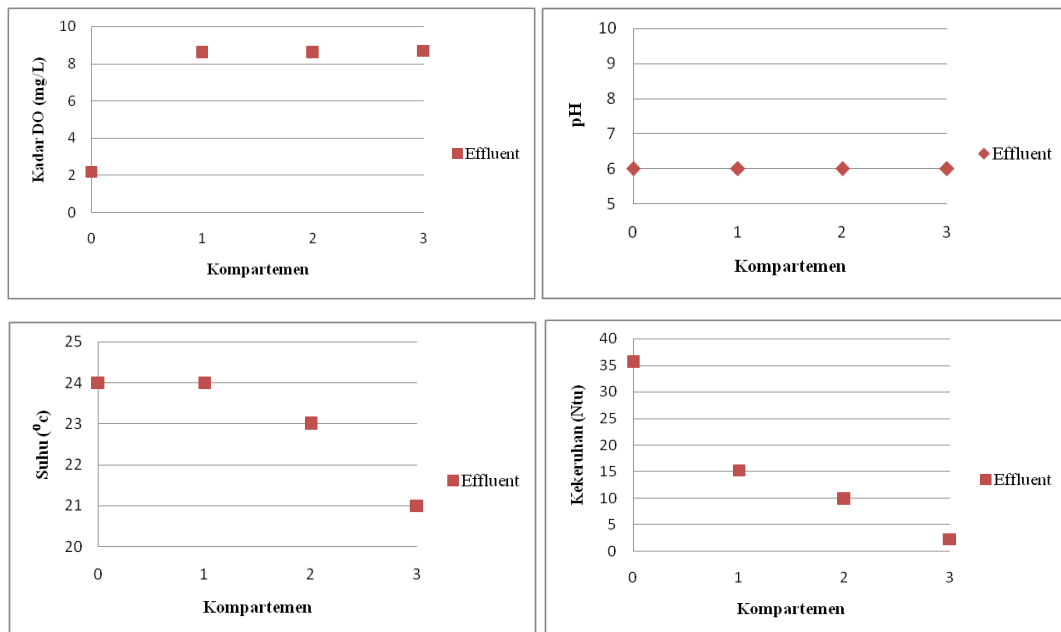
Gambar 4. Nilai DO dan pH pada Reaktor



Gambar 5. Nilai Suhu dan Kekeruhan pada Reaktor

Dapat dilihat pada grafik DO, pH, Suhu dan kekeruhan diatas bahwa terjadi kenaikan dan penurunan konsentrasi yang tidak stabil. Hal tersebut salah satunya diakibatkan oleh limbah yang diolah yang memiliki beban yang berbeda juga setiap harinya. Jika dilihat pada gambar grafik diketahui jika untuk konsentrasi pH, Suhu dan kekeruhan selalu mengalami penurunan konsentrasi dari influent ke effluent. Namu pada DO selalu terjadi kenaikan konsentrasinya dari influent ke effluent. Hal tersebut tentu salah satunya disebabkan oleh proses degradasi bahan organik yang terjadi pada lapisan biofilm pada batu andesit. Selain itu sistem tray yang digunakan tentunya akan mengakibatkan bertambahna kandungan DO diakibatkan adana kontak air limbah dengan udara atau oksigen di atmosfer bebas.

3.3 Pengujian Kualitas Air tiap Kompartemen



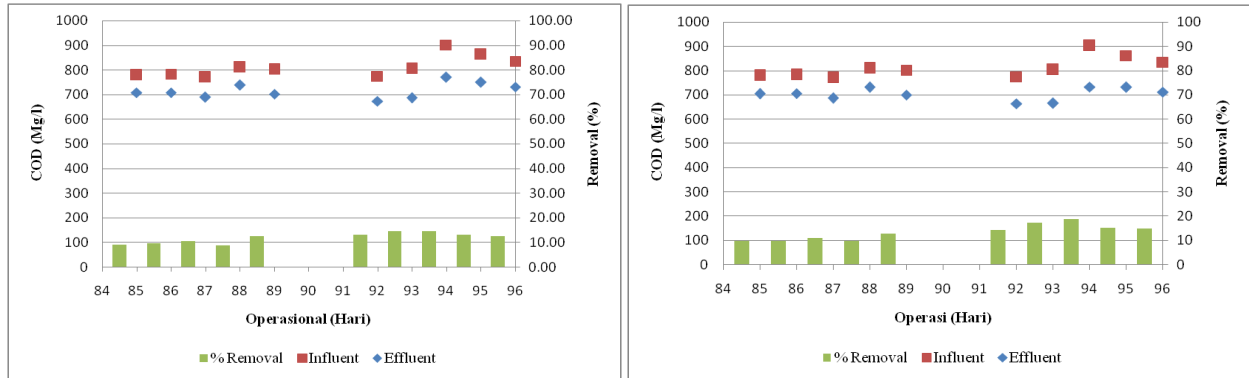
Gambar 6. Pengujian DO, pH, Suhu dan Kekeruhan tiap Kmpartemen

Dapat disimpulkan dari gambar grafik diatas bahwa untuk nilai DO terjadi kenaikan di setiap kompartemennya, untuk nilai suhu dan kekeruhan selalu mengalami penurunan di setiap

kompartemennya, sedangkan untuk nilai Ph tidak terjadi kenaikan atau penurunan yang signifikan pada tiap kompartemennya.

3.4 Konsentrasi COD pada Saat Running

Pengujian COD dilakukan sebanyak 10 kali pada saat tahap *running* atau *pengoperasian reaktor*. Adapun hasil pengujian COD pada *tray bioreactor* seperti pada grafik berikut ini.



Gambar 7. Konsentrasi COD saat *Running* pada Reaktor 1 dan 2

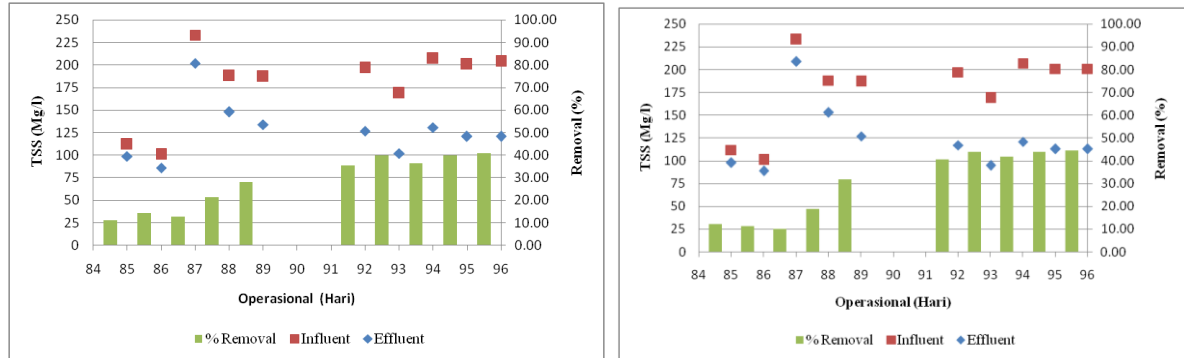
Dapat dilihat dari gambar diatas bahwa reaktor 1 dapat meremoval konsentrasi COD mulai dari 8,74-14,56% dengan rata-rata kemampuan removal yaitu sebesar 11,82%. Sedangkan pada reaktor 2 memiliki kemampuan dalam meremoval COD yaitu mulai dari 9,63-18,72% dengan rata-rata kemampuan removal sebesar 13,23%

Turunnya konsentrasi COD pada air limbah inlet dan outlet ini disebabkan oleh adanya penguraian atau degradasi bahan-bahan organik yang ada di dalam air limbah. Adanya lapisan biofilm yang terbentuk pada batu andesit menandakan bahwa terdapat mikroorganisme yang melekat pada batu. Mikroorganisme yang berada pada biofilm dan melekat pada media batu andesit akan memecah atau mendegradasi kandungan-kandungan organik dalam air limbah. Pada dasarnya suatu pengolahan air dengan menggunakan media penyangga sebagai tempat pertumbuhan melekat atau biofilter baik itu dengan sistem aerob ataupun anaerob sebgaiian besar proses degradasi atau pemecahan senyawa atau bahan-bahan organik terjadi pada lapisan biofilm ada media yang mengalami kontak dengan air limbah.

Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dijelaskan oleh (Purba, 2012) bahwa secara bersamaan oksigen terlarut dalam air limbah turut berperan dalam proses penguraian bahan-bahan atau senyawa organik pada air limbah, dimana senyawa tersebut diuraikan oleh mikroorganisme pada lapisan biofilm yang kemudian diubah menjadi biomassa. Oleh sebab itulah makin tinggi konsentrasi oksigen terlarut dalam air makan makin bagus pula kemampuan reaktor dalam meremoval COD dan makin bagus pula kualitas air apabila kadar oksigen terlarutnya tinggi.

3.5 Konsentrasi TSS pada Saat Running

Selain pengujian COD, pengujian TSS juga dilakukan pada saat tahap *running* reaktor. TSS juga diuji sebanyak 10 kali pada saat *running* atau pengoperasian reaktor. Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian TSS yaitu sebagai berikut ini.

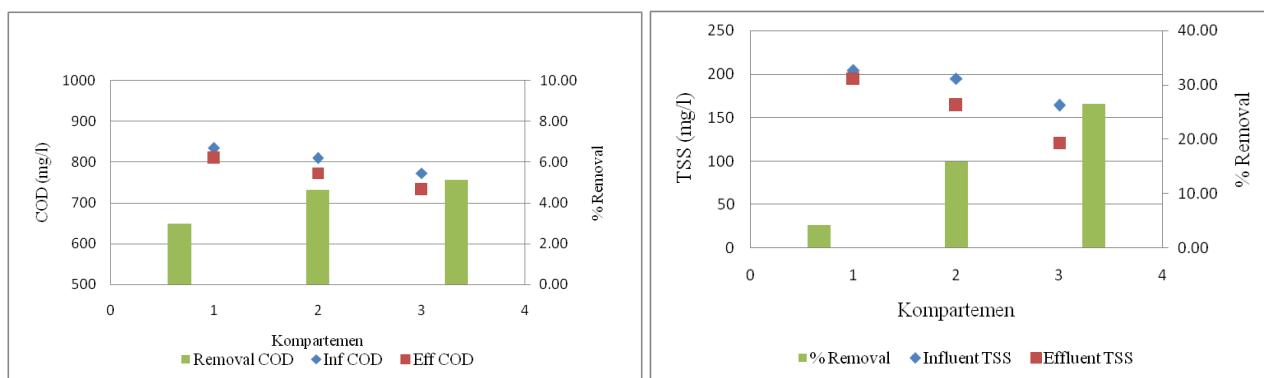


Gambar 8. Konsentrasi TSS saat *Running* pada Reaktor 1 dan 2

Performa *tray bioreactor* dengan menggunakan batu andesit sebagai media pertumbuhan melekat mengalami kenaikan dapat digunakan sebagai alternatif penyisihan konsentrasi TSS. Dapat dilihat pada gambar grafik diatas bahwa konsentrasi nilai TSS tidak sama dan cenderung naik turun. diketahui jika reaktor memiliki kemampuan terendah dalam melakukan penyisihan TSS yaitu sebesar 10,11-44,47%. Dijeaskan juga oleh Zahra (2015) bahwa salah satu dari banyaknya faktor yang dapat mempengaruhi penyisihan TSS pada pengelolaan air limbah yaitu adanya filtrasi yang terdapat pada biofilter. Padatan terlarut yang ada pada air limbah terdegradasi atau diubah menjadi bentuk yang lebih sederhana lagi oleh biofilm yang terdapat pada batu andesit yang digunakan sebagai media pertumbuhan terlekat dalam sistem *tray bioreactor*.

3.6 Pengujian COD dan TSS tiap Kompartemen Saat Running

Untuk mengetahui kinerja atau performa setiap kompartemen yang ada pada reaktor, maka dilakukan pengujian konsentrasi COD dan TSS pada setiap air effluent yang terdapat pada masing-masing kompartemen. Sehingga nantinya juga akan diperoleh persentase penyisihan COD dan TSS pada setiap kompartemennya. Adapun hasil dari pengujian di tiap kompartemennya dapat dilihat pada gambar grafik berikut.



Gambar 9. Konsentrasi COD dan TSS tiap Kompartemen pada Reaktor 1

Dari data diatas diketahui bahwa terjadi penyisihan konsentrasi COD dan TSS yang semakin besar dari kompartemen 1 sampai kompartemen 3. Removal tertinggi penyisihan COD dan TSS terdapat pada kompartemen yang sama, yaitu kompartemen 3 dengan penyisihan COD 5,12% dan TSS mencapai 26,52%. Dapat diketahui dari data tersebut bahwa semakin rendah beban pengolahan (COD dan TSS) yang ada pada air limbah maka semakin besar persentase penyisihan parameter COD dan TSS pada *tray bioreactor*.

Dijelaskan pula oleh Lestari (2011) bahwa nilai konsentrasi dari COD dapat dijadikan ukuran terhadap tingkat pencemaran di air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dioksidasi melalui sebuah proses mikrobiologis, sehingga hal tersebut mengakibatkan berkurangnya kandungan atau kadar oksigen terlarut yang ada pada air. Sedangkan dijelaskan oleh Rono (2007) bahwa pada dasarnya TSS memiliki fungsi yang salah satunya yaitu untuk menilai ataupun memantau kemampuan tanaman pengolahan air limbah dalam menjamin kualitas air limbah apakah telah memenuhi baku mutu atau belum, sebelum air limbah disalurkan atau diterima oleh badan air.

3. 7 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Performa Reaktor

Penyisihan COD dan TSS pada *tray bioreactor* terjadi tidak stabil, dimana mengalami kenaikan dan penurunan. Hal tersebut tentu berhubungan dengan performa dari reaktor. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi dari performa *tray bioreactor*, seperti berikut ini.

1. Distribusi Air Limbah

Penyebaran distribusi air limbah yang kurang merata disetiap kompartemennya inilah yang menjadi pemicu naik dan turunnya performa dari reaktor dalam penyisihan berbagai parameter terutama COD dan TSS. Distribusi air yang kurang merata akan mempengaruhi langsung pembentukan biofilm pada permukaan batu andesit. Lapisan biofilm pada permukaan batu andesit yang tidak merata ini menjadi salah satu faktor naik dan turunnya performa reaktor yang tidak stabil. Agar pembentukan dan penyebaran biofilm dapat merata pada seluruh bagian permukaan batu andesit, tentu saja yang perlu diperhatikan harus meratanya

aliran air limbah di dalam reaktor. Berarti hal tersebut berhubungan dengan peralatan pendukungnya seperti selang air, kompresor selang dan pompa yang berperan untuk mendistribusikan air limbah dalam reaktor.

2. Pompa Air Limbah

Pompa air disini merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi naik dan turunnya performa dari *tray bioreactor*. Pompa mati ini diakibatkan oleh aliran listrik yang mati dan terkadang diakibatkan oleh pompa yang mengalami penyumbatan sehingga kurang bekerja maksimal dalam mengalirkan air limbah ke dalam reaktor. Diakibatkan seringnya permasalahan yang terjadi pada pompa saat proses aklimatisasi inilah yang menyebabkan selama proses aklimatisasi didapat data yang kurang stabil. Pengecekan pompa air harus sering dilakukan agar performa reaktor tidak menurun.

3. Selang Air Limbah

Selang yang digunakan untuk mengalirkan air limbah juga sering mengalami masalah. Permasalahan yang sering terjadi pada selang yaitu kotorannya bagian dalam selang. Bagian dalam selang akan semakin ditumbuhi oleh lumut berwarna hijau atau terkadang terdapat endapan didalamnya. Sehingga mengakibatkan aliran air limbah atau debit air limbah terkadang suka berubah melambat. Solusi yang dilakukan untuk mengatasi bagian dalam selang yang kotor yaitu melakukan penggantian selang air apabila dirasa selang air sudah kotor dan dirasa harus dilakukan penggantian.

4. Penambahan larutan gula (glukosa)

Penambahan larutan gula sebanyak 1 kg yang dilarutkan dalam air limbah pada saat waktu libur akademik menjadi salah satu penyebab turunnya performa dari *tray bioreactor*. Penambahan gula pada air limbah yang dialirkan kedalam reaktor dengan sistem resirkulasi memicu turunnya performa. Pada saat penambahan larutan gula pada air limbah maka terjadi yang disebut *shock loading rate*, dimana beban pengolahan yang diolah dalam reaktor terlalu tinggi. Tentu saja hal tersebut mengakibatkan terpengaruhnya mikroorganisme yang ada berada pada biofilm untuk mendegradasi bahan organik dalam air limbah. Mikroorganisme mengalami penurunan kualitas atau bahkan kematian saat mengolah air limbah dengan beban yang terlalu besar.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis data yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Performa *tray bioreactor* dalam penyisihan konsentrasi COD pada air limbah pada saat aklimatisasi dapat mencapai 39,46% dan namun pada saat running menurun hanya dapat mencapai 18,72%. Sedangkan performa reaktor untuk penyisihan konsentrasi TSS pada air limbah dapat mencapai 44,47%. Hal tersebut membuktikan bahwa batu andesit dapat digunakan sebagai media penyangga untuk pertumbuhan terlekat pada *tray bioreactor* untuk penyisihan parameter COD dan TSS pada air limbah domestik.
2. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja atau performa dari *tray bioreactor* diantaranya seperti distribusi air limbah yang kurang merata, pembentukan dan penyebaran biofilm, pompa yang terkadang mati, penambahan larutan gula yang berlebihan serta selang air limbah yang kotor dan sering terjadi penyumbatan sehingga harus diganti dan dibersihkan. Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi kinerja *tray bioreactor* dikarenakan jika salah satunya bermasalah maka mengakibatkan kinerja *tray bioreactor* yang tidak stabil dalam kemampuannya untuk meremoval COD dan TSS.

V. SARAN

Dari hasil penelitian yang didapatkan, ada beberapa saran yang dapat penulis berikan untuk penelitian kedepannya, diantaranya sebagai berikut.

1. Melakukan penelitian performa *tray bioreactor* dengan media batu andesit dalam penyisihan parameter fisika, kimia dan biologi lainnya ada air limbah.
2. Melakukan pengembangan penelitian dan membandingkan media batu andesit dengan media yang berasal dari batuan vulkanik lainnya yang berada disekitar gunung berapi.
3. Perluasan topik penelitian yang berhubungan dengan media penyangga, *tray bioreactor* dan waktu tinggal pada sistem teknologi pengolahan air limbah.
4. Mengaplikasikan media batu andesit sebagai media penyangga dengan sistem pengolahan yang lain ataupun untuk mengolah air limbah dari sumber lain seperti air limbah industri.

VI. DAFTAR USTAKA

- AK, Rono. 2017. **Evaluation of TSS, BOD5, and TP in Sewage Effluent Receiving Sambul River**. Journal of Pollution Effects & Control. Vol. 5 Issue 2. 1000189
- Badan Lingkungan Hidup Provinsi DIY. 2016. **Hasil Uji Kualitas Limbah Cair Domestik Agustus Tahun 2016**. Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Bitton, Gabriel. (1994). **Wastewater Microbiology (2nd edition)**. Wiley Series in Ecological and Applied Microbiology. Wiley-Liss Inc.
- Edwin, Tivany., Dewilda, Yommi., Alda, Aldilla Afiani. 2014. **Kinerja Biosand Filter Berbahan Dasar Batuan Andesit dalam Menurunkan Konsentrasi BOD dan COD pada Air Tanah Dangkal**. Jurnal Teknik Lingkungan UNAND. 11 (1) : 59-66.
- Kubota , Kengo., Hayashi, Mikio., Matsunaga, Kengo., Iguchi, Aknori., Osashi, A., et.al. 2014. **Microbial Community Composition of a Down-flow Hanging Sponge (DHS) Reactor Combined with an Up-flow Anaerobic Blanket (UASB) Reactor for the Treatment of Municipal Sewage**. Bioresource Technology Journal. 151 (2014) 144-150.
- Lestari, Riya Puji. 2011. **Pengujian Kualitas Air di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Mojosongo Kota Surakarta**. Tugas Akhir. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Mahmoud, Mohamed., Tawfik, Ahmed., El-Gohary, Fatma. 2011. **Use of Down-Flow Hanging Sponge (DHS) Reactor as a Promising Post-treatment System for Municipal Wastewater**. Chemical Engineering Journal 16B (2011) 535-543.
- Purba, Intan Rosa Katrina. 2012. **Performa Reaktor Down-flow Hanging Sponge (DHS) Dalam Mengolah Air Limbah Domestik di Jakarta**. Tugas Akhir. Universitas Indonesia.
- Tandukar, Madan., Osashi, A., Harada, H. 2007. *Performance Comparison of a Pilot-scale UASB and DHS System and Activated Sludge Process for the Treatment of Municipal Wastewater*. Water Research 41 (2007) 2697-2705.
- Tawfik, A. et. al. 2005. **Sewage Treatment in a Combined Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)–Down-flow Hanging Sponge (DHS) System**. Biochemical Engineering Journal. 29 (2006) 210–219
- Zahra, Laily Zoraya dan Purwanti, Ipung Fitri. 2015. **Pengolahan Limbah Rumah Makan dengan Proses Biofilter Aerobik**. FTSP. Institut Teknologi Sepuluh November. Jurnal Teknik ITS Vol.4 No.1.