

## **PENURUNAN KADAR DETERGEN (LAS) DAN FOSFAT DENGAN METODE BIOFILTER AEROB-ANAEROB DAN ANAEROB-AEROB**

**Syafiyah Dzikra Mirandri dan Yayok Suryo Purnomo**

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

Email: [yayoksuryo@gmail.com](mailto:yayoksuryo@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Limbah *laundry* identik dengan pencemar bahan organik berupa detergen (LAS) dan fosfat, apabila bahan tersebut dibuang langsung ke lingkungan dan terakumulasi akan menimbulkan fenomena *eutrofikasi*. Biofilter merupakan pengolahan biologis dengan bakteri biakan melekat, dalam prosesnya media adalah tempat melekat dan tumbuhnya bakteri. Biofilter kombinasi merupakan kombinasi proses pengolahan anaerob dengan aerob atau pun sebaliknya. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efektifitas dan optimalisasi pengolahan limbah *laundry* dalam menurunkan kadar detergen (LAS), dan fosfat dengan metode Biofilter kombinasi. Variabel yang diperlakukan dalam penelitian ini yaitu kombinasi sistem biofilter aerob-anaerob dengan biofilter anaerob-aerob dan waktu sampling (2, 4, 6, 8, dan 10 jam). Variasi kombinasi sistem biofilter aerob-anaerob dapat menurunkan kadar detergen (LAS) sebesar 97,08% dan fosfat sebesar 85,39%, sistem biofilter anaerob-aerob dapat menurunkan kadar detergen (LAS) sebesar 97,19% dan fosfat sebesar 82,51%. Variabel waktu sampling menghasilkan efisiensi penurunan kadar detergen (LAS) sebesar 88,95 – 98,83%, dan fosfat sebesar 84,82 – 86,96% secara stabil.

**Kata kunci:** *Biofilter Aerob-Anaerob, Biofilter Anaerob-Aerob, Air Limbah Laundry, Detergen (LAS), Fosfat.*

### **ABSTRACT**

*Laundry waste is identical to organic contaminants in the form of detergents (LAS) and phosphates, if these materials are disposed of directly into the environment and accumulate, it will cause a eutrophication phenomenon. Biofilter is a biological treatment with attached culture bacteria, in the process the media is a place for bacteria to attach and grow. Combined biofilter is a combination of an anaerobic with an aerobic processing or vice versa. The purpose of this study was to determine the effectiveness and optimization of laundry waste treatment in reducing levels of detergent (LAS) and phosphate using a combination biofilter method. The variables treated in this research were the combination of aerobic-anaerobic biofilter system with anaerobic-aerobic biofilter and sampling time (2, 4, 6, 8, and 10 hours). Variations in the combination of aerobic-anaerobic biofilter systems can reduce detergent levels (LAS) by 97.08% and phosphate by 85.39%, anaerobic-aerobic biofilter systems can reduce detergent levels (LAS) by 97.19% and phosphates by 82.51 %. The sampling time variable resulted in a reduction efficiency of detergent levels (LAS) of 88.95 - 98.83%, and phosphate of 84.82 - 86.96% stably.*

**Keywords:** *Aerobic-Anaerobic Biofilters, Anaerobic-Aerobic Biofilters, Laundry Wastewater, LAS Detergent, Phospat*

## **PENDAHULUAN**

Seiring meningkatnya kegiatan jasa pencucian (*laundry*) juga diikuti dengan meningkatnya pencemaran akibat dari limbah dari proses pencucian tersebut, dimana pada saat ini umumnya kebanyakan dari *home industry laundry* langsung membuang limbah dari proses pencucian tersebut langsung ke badan air. Dalam prakteknya, jasa laundry banyak menggunakan deterjen sebagai bahan pencuci, terdapat beberapa zat utama yang terkandung dalam deterjen yaitu pembersih (Surfaktan) sebesar 70% – 80%, *builder* (senyawa Fosfat) sebesar 20% – 30%, dan zat aditif ( pemutih dan pewangi) sebesar 2% – 8% (Sawyer, 1978). Sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013 Lampiran I, pada limbah cair *laundry* terdapat beberapa parameter seperti BOD, COD, TSS, minyak lemak, fosfat, deterjen, dan pH, apabila bahan-bahan tersebut dibuang langsung ke lingkungan dan terakumulasi secara berlebihan maka akan menimbulkan fenomena *eutrofikasi*.

Perlu adanya pengembangan suatu metode alternatif yang dapat mereduksi tingkat bahaya yang ditimbulkan oleh limbah pencucian pakaian (*laundry*) khususnya dalam mendegradasi kandungan Detergen (LAS) dan Fosfat. Dalam mengembangkan metode alternatif tersebut dilakukan penelitian dengan mengolah air limbah *laundry* melalui proses biofilter, biofilter merupakan pengolahan biologis dengan bakteri melekat, dimana dalam prosesnya membutuhkan media sebagai tempat melekat dan tumbuhnya bakteri.

Biofilter kombinasi merupakan kombinasi proses pengolahan anaerob dengan pengolahan aerob atau pun sebaliknya. Dalam prosesnya, biofilter kombinasi dijalankan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam dua tahap reaktor biologis yang masing-masing sudah diisi dengan media penyangga sebagai tempat mikroorganisme berkembangbiak. Dalam proses biofilter anaerob, limbah dialirkan ke dalam reaktor tertutup tanpa ada proses memasukan udara kedalamnya, dan setelah beberapa hari beroperasi, media akan ditumbuhi oleh lapisan film mikroorganisme. Mikroorganisme inilah yang akan menguraikan zat organik. Dalam proses biofilter anerob ini penguraian zat-zat organik yang ada dalam limbah dilakukan oleh bakteri anaerobik dan

fakultatif aerobik. Untuk proses biofilter aerob, reaktor juga diisi dengan media dan air limbah sambil diaerasi, sehingga mikroorganismenya yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media. Hal tersebut membuat limbah mengalami kontak dengan mikroorganisme yang teruspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat organik. Proses pengolahan limbah cair dengan proses biofilter kombinasi ini memiliki beberapa keunggulan yaitu :

- a. Dapat mengurangi konsentrasi zat organik dengan beban yang cukup besar, dapat juga mengurangi kadar padatan tersuspensi (SS), deterjen (MBAS), amoniak/amonium, dan fosfor. Dan dengan mengkombinasikan proses anaerob-aerob dapat meningkatkan efisiensi penghilangan senyawa fosfor menjadi lebih besar dibandingkan dengan menggunakan salah satu proses saja.
- b. Sistemnya tergolong sederhana, pengoperasiannya mudah, biaya operasinya rendah, tidak memerlukan lahan yang luas, dan tidak membutuhkan banyak energi. Sistem ini tergolong cocok untuk pengolahan dengan kapasitas yang tidak terlalu besar.
- c. Dalam prosesnya, hasil akhir berupa lumpur yang dihasilkan relatif sedikit jika dibandingkan dengan proses lumpur aktif.

Material media yang digunakan dalam proses biofilter umumnya berupa bahan organik atau anorganik. Media biofilter yang berasal dari bahan anorganik biasanya berbentuk tali, jaring, papan, *bioball* dan batu tembikar, batu bara (kokas) dan lainnya. Dan untuk media anorganik biasanya berbentuk batuan pecah, kerikil, marmer (Said, 2017). Media yang digunakan pada penelitian kali ini adalah Media *bioball* mempunyai keunggulan yaitu mempunyai luas spesifik yang cukup besar dibandingkan dengan jenis media biofilter lainnya, yaitu sebesar 200-240 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, pemasangannya mudah (random), sehingga untuk paket instalasi kecil sangat sesuai. Selain itu, media *bioball* juga mudah dicuci ulang, ringan, mudah didapatkan dan harga per unit luas permukaannya murah, sehingga memenuhi kriteria pemilihan media biofilter (Said, 2005). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efektifitas dan optimalisasi kinerja biofilter

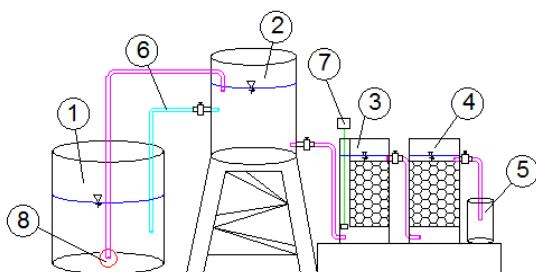
kombinasi dalam menurunkan kadar detergen (LAS), dan fosfat pada limbah *laundry*.

**METODE PENELITIAN**

**Pembuatan Reaktor**

Pada penelitian ini susunan reaktor yang digunakan terdiri dari bak penampung awal dengan volume 50 L, bak pengatur debit dengan volume 25 L, reaktor biofilter kombinasi aerob-anaerob (reaktor 1) dan reaktor biofilter anaerob-aerob (reaktor 2) dengan masing-masing volume 31,25 L, bak pengendap dengan volume 25 L, dan media yang digunakan adalah media *bioball*.

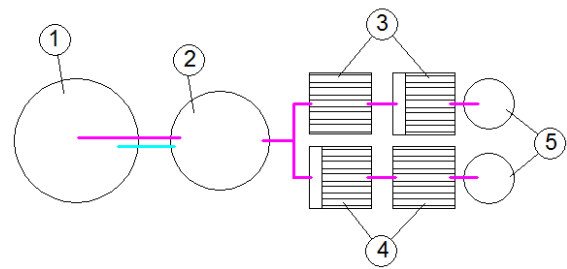
Pertama limbah akan ditampung dalam bak penampung lalu dipompa menuju bak pengatur debit, dalam bak debit limbah akan diatur debitnya untuk dialirkan menuju reaktor biofilter. Dalam reaktor biofilter berisi media *bioball* terjadi proses pendegradasian polutan, pada reaktor 1 (aerob-anaerob) limbah yang dialirkan dari bak debit selanjutnya akan masuk dalam reaktor pengolahan aerob terlebih dahulu yang dalam pengolahannya dibantu dengan injeksi udara, lalu dilanjutkan dengan mengalirkannya masuk dalam reaktor pengolahan anaerob, dan hasil dari pengolahannya akan ditampung dalam bak pengendap, begitu pula pada reaktor 2 (anaerob-aerob) limbah yang dialirkan dari bak debit selanjutnya akan masuk dalam reaktor pengolahan anaerob terlebih dahulu lalu dilanjutkan dengan mengalirkannya masuk dalam reaktor pengolahan aerob yang dalam pengolahannya dibantu dengan injeksi udara, dan hasil dari pengolahannya akan ditampung dalam bak pengendap.



**Gambar 1** Ilustrasi Reaktor Biofilter Kombinasi

Keterangan :

- 1. Bak Penampung
- 2. Bak Pengatur Debit
- 3. Biofilter Aerob (*Bioball*)
- 4. Biofilter Anaerob (*Bioball*)
- 5. Bak Pengendap
- 6. Pipa aliran limbah
- 7. Aerator
- 8. Pipa overflow



**Gambar 2** Layout Reaktor Biofilter Kombinasi

Keterangan :

- 1. Bak Penampung
- 2. Bak Pengatur Debit
- 3. Biofilter Anaerob – Aerob
- 4. Biofilter Aerob – Anaerob
- 5. Bak Pengendap
- 6. Pipa aliran limbah
- 7. Pipa overflow

**Seeding dan Aklimatisasi**

Proses *seeding* dilakukan untuk mebiakkan bakteri atau mikroorganisme pada media, proses seeding dilakukan dengan sistem *batch* hingga biofilm tumbuh menyelimuti media secara merata dan menebal. Selama proses seeding dilakukan pemantauan kadar oksigen terlarut (DO) secara berkala.

Aklimatisasi adalah proses adaptasi mikroorganisme dengan air limbah yang akan diolah, proses aklimatisasi ini dilakukan dengan cara menambahkan limbah secara bertahap. Tahapan aklimatisasi dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah dari bak pengatur debit menuju reaktor yang telah terisi media dengan debit 65 ml/menit. Tahapan aklimatisasi ini dilakukan sampai biofilm mampu mendegradasi bahan organik pada limbah. Pada tahap aklimatisasi dilakukan pengujian parameter COD guna mengetahui tahap kemampuan biofilm dalam pengolahan air limbah pada proses biofilter kombinasi ini. COD diukur setiap hari guna mengetahui atau sebagai indikator keberhasilan dan sebagai tanda bahwa mikroorganisme sudah dalam keadaan atau kondisi *steady state*. Kondisi *steady state* adalah kondisi dimana penyisihan zat organik oleh mikroorganisme sudah pada kondisi stabil, ditandai dengan penurunan bahan organik yang relatif stabil perbedaannya tidak lebih dari 10% selama 3 hari berturut-turut.

### **Penelitian Utama**

Setelah selesai tahap seeding dan aklimatisasi, dilanjutkan dengan proses penelitian utama. Pada proses penelitian utama ini dilakukan secara *batch* dan *continue*. Dalam proses *running* secara *batch* diperlakukan variabel kombinasi sistem biofilter aerob-anaerob dengan biofilter anaerob-aerob, dalam prosesnya besar debit yang dialirkan sama yaitu 65 ml/menit dan media yang digunakan adalah media bioball. Hasil dari proses *running* secara *batch* nanti akan diujikan parameter uji pada penelitian ini yaitu detergen (LAS) dan fosfat pada tiap kombinasi sistem biofilter, lalu dari hasil dari proses *running batch* akan diketahui efektifitas dari kombinasi sistem biofilter aerob-anaerob maupun biofilter anaerob-aerob.

Untuk *running* proses *continue* diambil salah satu perwakilan dari kombinasi sistem biofilter, variabel yang akan diperlakukan adalah variabel waktu sampling 2, 4, 6, 8, dan 10 jam, dalam prosesnya besar debit yang dialirkan sama yaitu 65 ml/menit dan media yang digunakan adalah media bioball. Hasil dari proses *running* secara *continue* ini akan diujikan parameter uji pada penelitian ini yaitu detergen (LAS) dan fosfat pada tiap waktu sampling, lalu hasil dari proses *running continue* ini akan diketahui optimalisasi kinerja dari reaktor biofilter dalam mendegradasi kadar detergen (LAS) dan fosfat pada limbah *laundry*.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **Analisa Awal Karakteristik Air Limbah Laundry**

Analisa awal yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah Detergen (LAS) dan fosfat yang merupakan parameter uji pada penelitian kali ini. Berikut adalah hasil analisis awal kadar detergen (LAS) dan fosfat pada limbah laundry dapat dilihat di Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakteristik Awal Air Limbah Laundry

<b>Parameter</b>	<b>Hasil Analisa (mg/l)</b>	<b>Baku Mutu (mg/l)</b>
Detergen	50,6	10
Fosfat	12,12	10

Sumber : Surat Keputusan Gubernur Jawa Timur no. 72 tahun 2013

### **Pengaruh Kombinasi Sistem Biofilter Dalam Penurunan Kadar Detergen (LAS) dan Fosfat**

Penelitian berlangsung secara *batch* guna menemukan jenis kombinasi terbaik. Penelitian yang berlangsung secara *batch* ini menggunakan variasi jenis kombinasi sistem biofilter aerob-anaerob pada reaktor 1 dan biofilter anaerob-aerob pada reaktor 2, dengan menggunakan debit aliran sebesar 65 ml/menit. Pada variasi jenis kombinasi sistem biofilter nantinya didapatkan hasil efisiensi % removal penurunan parameter seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 2**

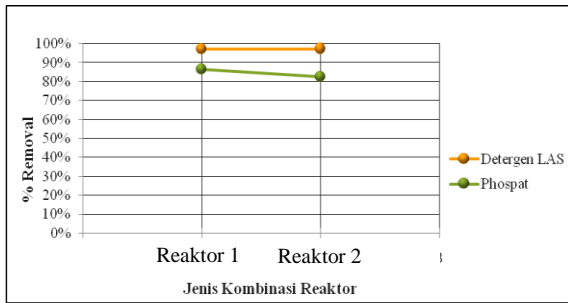
**Tabel 2** Pengaruh Variasi Kombinasi Sistem Biofilter Terhadap Penurunan Kadar Detergen (LAS) dan Fosfat

<b>Jenis Kombinasi Proses Biofilter</b>	<b>Efisiensi % removal</b>	
	<b>Parameter uji</b>	
	<b>Detergen (LAS)</b>	<b>Fosfat</b>
Reaktor 1 (Aerob-Anaerob)	97,08%	86,39%
Reaktor 2 (Anaerob-Aerob)	97,19%	82,51%

Sumber : Analisa Penulis, 2020

Dari tabel diatas dapat dilihat hasil penurunan kadar Detergen (LAS) dan Fosfat dari sistem penelitian secara *batch* dengan variasi dua jenis kombinasi sistem biofilter yaitu sistem biofilter aerob-anaerob (reaktor 1) dan sistem biofilter anaerob-aerob (reaktor 2). Pengaruh variasi jenis kombinasi sistem biofilter terhadap penurunan kadar Detergen (LAS) dan Fosfat pada variasi jenis sistem biofilter aerob-anaerob (reaktor 1) menghasilkan % removal untuk Detergen (LAS) sebesar 95,15% dan Fosfat 85,32%, sedangkan pada variasi jenis sistem biofilter anaerob-aerob (reaktor 2) menghasilkan % removal untuk Detergen (LAS) 95,35% dan Fosfat 81,14%. Dari hasil yang di dapatkan dapat dinyatakan bahwa baik itu sistem biofilter aerob-anaerob atau pun anaerob-aerob, keduanya dapat mendegradasi kadar Detergen (LAS) dan Fosfat dengan baik, dan hasil yang didapatkan setelah adanya pengolahan telah memenuhi baku mutu PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013.

**Grafik 1** Hubungan Variasi Kombinasi Proses Biofilter Terhadap % Removal Detergen (LAS) dan Fosfat



Sumber : Analisa Penulis, 2020

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa meskipun penurunan terbesar untuk Detergen (LAS) pada sistem biofilter anaerob-aerob (reaktor 2) sebesar 97,19% dibanding pada sistem biofilter aerob-anaerob (reaktor 1) sebesar 97,08%, tetapi perbedaan dari dua jenis proses biofilter tersebut tidaklah jauh, keduanya hanya terpaut perbedaan sebesar 0,12%. Untuk penurunan kadar fosfat terbesar terdapat pada proses biofilter aerob-anaerob (reaktor 1) sebesar 86,39% dibanding pada sistem biofilter anaerob-aerob (reaktor 2) sebesar 82,51%, pada penurunan kadar fosfat terdapat selisih yang cukup signifikan antara sistem biofilter aerob-anaerob (reaktor 1) dengan sistem biofilter anaerob-aerob (reaktor 2) yaitu sebesar 3,88%. Selisih perbedaan penurunan kadar Fosfat yang cukup besar pada sistem biofilter anaerob-aerob (reaktor 2) dengan sistem biofilter aerob-anaerob (reaktor 1), dikarenakan pada sistem biofilter anaerob-aerob (reaktor 2), dengan posisi pengolahan anaerob di awal, diperkirakan penyebabnya adalah keberadaan bakteri pengguna komponen simpanan, dimana bakteri tersebut berkompetisi dengan PAO dalam pengambilan substrat pada kondisi anaerob, sehingga bakteri pengakumulasi polifosfat (*polyphosphate accumulating organisms/PAO*) tidak dapat mendegradasi Fosfat dengan maksimal (Khusnuryani, 2008).

**Pengaruh Waktu Sampling Terhadap Penurunan Detergen (LAS) dan Fosfat**

Penelitian berlangsung secara kontinyu dengan mengambil sistem Aerob-Anaerob sebagai perwakilan dari penelitian sebelumnya yang berlangsung secara *batch*. Pada penelitian kali ini terdapat 5 variasi waktu sampling yaitu 2, 4, 6, 8, dan 10 jam. Hasil penurunan

parameter dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

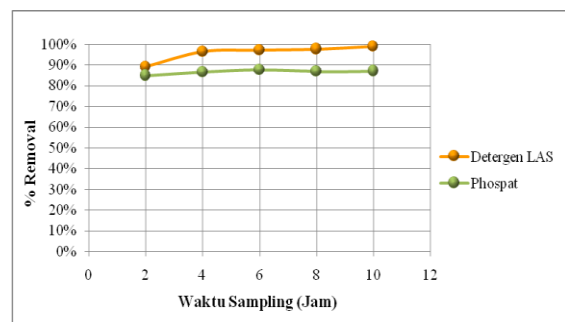
**Tabel 3** Pengaruh Waktu Sampling Terhadap Penurunan Kadar Detergen (LAS) dan Fosfat. Sumber : Analisa Penulis, 2020

Dari tabel di atas dapat dilihat hasil dari pengaruh waktu sampling terhadap penurunan Detergen (LAS) pada variasi proses biofilter terbaik aerob-anaerob (reaktor 1) menunjukkan bahwa hasil penurunan Detergen (LAS) pada waktu sampling 2 jam sebesar 88,95%, pada waktu sampling 4 jam sebesar 96,40%, pada waktu sampling 6 jam sebesar 97,00%, pada waktu sampling 8 jam sebesar 97,67%, dan pada waktu sampling 10 jam sebesar 98,83%.

Jenis Kombinasi Proses Biofilter	Waktu Sampling (Jam)	Efisiensi % removal Parameter uji	
		Detergen (LAS)	Fosfat
Reaktor 1 (Aerob-Anaerob)	2	88,95%	84,82%
	4	96,40%	86,39%
	6	97,00%	87,54%
	8	97,67%	86,80%
	10	98,83%	86,96%

waktu sampling 6 jam sebesar 97,00%, pada waktu sampling 8 jam sebesar 97,67%, dan pada waktu sampling 10 jam sebesar 98,83%. Untuk hasil dari pengaruh waktu sampling terhadap penurunan Fosfat pada variasi proses biofilter terbaik aerob-anaerob (reaktor 1) menunjukkan bahwa hasil penurunan Fosfat pada waktu sampling 2 jam sebesar 84,82%, pada waktu sampling 4 jam sebesar 86,39%, pada waktu sampling 6 jam sebesar 87,54%, pada waktu sampling 8 jam sebesar 86,80%, dan pada waktu sampling 10 jam sebesar 86,96%

**Grafik 2.** Grafik Hubungan Waktu Sampling Terhadap % Removal Detergen (LAS) dan Fosfat.



Sumber : Analisa Penulis, 2020

Dari grafik di atas terlihat bahwa untuk hasil penurunan atau % removal terbesar Detergen (LAS) sebesar 98,83% dan Fosfat sebesar 86,96% terdapat pada waktu sampling 10 jam, dan dapat dilihat pula dari pola penurunan pada grafik telah menunjukkan hasil dengan penurunan yang stabil. Sehingga penelitian yang dilakukan secara kontinyu ini dapat dikatakan telah berjalan dengan baik, dan mikroorganisme yang berperan juga sudah bekerja dengan baik. Hasil penurunan Detergen (LAS) dan Fosfat telah memenuhi baku mutu PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013.

### **Penjelasan Pendegradasian Detergen (LAS) Dan Fosfat Pada Proses Biofilter Aerob-Anaerob dan Biofilter Anaerob-Aerob.**

Dari kedua variasi kombinasi sistem biofilter aerob-anaerob maupun anaerob-aerob pada penelitian ini memiliki kelebihan masing-masing. Dapat dilihat dari hasil dari proses *running batch* dimana pada penurunan kadar Fosfat lebih besar pada reaktor 1 (Aerob-Anaerob) dibanding pada reaktor 2 (Anaerob-Aerob), dan untuk penurunan kadar Detergen (LAS) lebih besar pada reaktor 2 (Anaerob-Aerob) dibanding pada reaktor 1 (Aerob-Anaerob), tentunya kedua variasi kombinasi sistem biofilter memiliki proses pendegradasian yang berbeda untuk kadar detergen (LAS) maupun fosfat, yang akan dijelaskan lebih lanjut.

Pada reaktor aerob dalam variasi kombinasi sistem biofilter aerob-anaerob, proses pemecahan LAS melibatkan degradasi dari rantai alkil lurus, gugus fungsi sulfonat dan cincin benzena. Pemecahan rantai alkil ini dimulai dengan proses oksidasi dari gugus metil terminal ( $\omega$ -Oksidasi) menjadi alkohol, aldehyd, dan asam karboksilat. Selanjutnya asam karboksilat mengalami  $\beta$ -Oksidasi yang menghasilkan SPC's (*Sulpho Phenyl Carboxylates*) yang mengakibatkan hilangnya tegangan permukaan dan sifat toksisitas dalam detergen (LAS), sehingga pada tahap ini baru muncul proses biodegradasi rantai alkil. Gugus sulfonat pada LAS dipecah menjadi sulfat kemudian dioksidasi menjadi sulfat. Sementara itu proses oksidasi oleh mikroorganisme untuk asam fenilasetat menghasilkan asam fumarat dan asetoasetat. Dan, benzena direduksi oleh NADH menjadi katekol, dan katekol dimetabolisme menjadi asetil KoA yang

digunakan mikroorganisme untuk produksi energi (Scott & Jones, 2000). Dan dalam proses degradasi fosfat pada kondisi aerob PAO (*Polyphosphate accumulating organisms*) akan mengkonsumsi cadangan karbon internal dan substrat yang tersedia untuk menghasilkan energi yang akan menghasilkan akumulasi dan penyerapan fosfat sebagai polifosfat (Comeau Y, 1986).

Selanjutnya reaktor anaerob dalam variasi kombinasi sistem biofilter aerob-anaerob, kondisi yang tercipta sebagai anaerob fakultatif, mengingat proses awal pada reaktor 1 adalah proses aerob, maka memungkinkan adanya oksigen yang masih terkandung dalam reaktor anaerob meskipun kadarnya tidak melimpah. Pada reaktor anaerob sulfat akan direduksi oleh mikroorganisme pereduksi sulfat, dimana mikroorganisme pereduksi sulfat memiliki sifat anaerob, dan asetat digunakan sebagai substrat pada proses degradasi fosfat. Dan dalam pendegradasian fosfat pada reaktor anaerob dengan kondisi anaerob awal, fosfat organik yang bersal dari mikroorganisme akan dilepaskan akibat dari proses hidrolisis fosfat dalam limbah. Pelepasan fosfat juga dipicu dengan adanya gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S, dan asetat yang berasal dari reaktor aerob akan menjadi substrat penyimpanan karbon dalam proses pelepasan fosfat. Pada kondisi aerob PAO akan mengakumulasi dan menyerap fosfat sebagai sumber energi (Comeau Y, 1986).

Pada reaktor anaerob dalam variasi kombinasi sistem biofilter anaerob-aerob, proses biodegradasi suatu zat hingga produk akhir anorganik selalu membutuhkan kerja sama dari berbagai jenis mikroorganisme, dimana metabolit yang dihasilkan satu organisme akan menjadi substrat untuk organisme selanjutnya. Dalam proses degradasi detergen (LAS) langkah pertama, senyawa organik kompleks atau polimer digunakan oleh bakteri fermentatif. Hasil dari proses fermentatif sendiri berupa alkohol dan asam lemak rantai pendek (asam karboksilat). Kemudian bakteri asetogenik memanfaatkan produk fermentasi sebagai substrat dan mengubahnya menjadi asetat, karbon dioksida, & hidrogen molekuler. Di akhir rantai makanan, bakteri metanogenik menggunakan asam asetat, karbon dioksida dan hidrogen untuk produksi biogas (Merrettig-bruns & Jelen, 2009). Pada proses anaerob fosfat yang

ada dalam sel-sel mikroorganisme akan lepas akibat dari proses hidrolisis senyawa fosfat dalam air limbah, pelepasan senyawa fosfat juga dipicu dengan adanya senyawa karbon sederhana dan gas  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{S}$ . Fosfat yang dilepaskan dalam larutan berasal dari cadangan polifosfat. Adanya asetat dalam reaktor anaerob yang berasal dari produk samping degradasi LAS juga dimanfaatkan sebagai substrat penyimpanan karbon dalam proses pelepasan fosfat (Comeau Y, 1986).

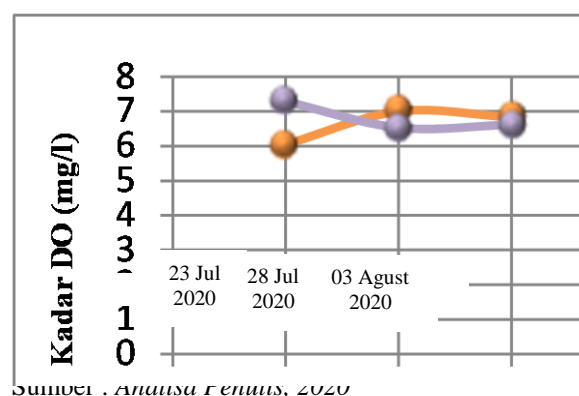
Selanjutnya dalam reaktor aerob dalam variasi kombinasi sistem biofilter anaerob-aerob, sulfonat yang masih lolos akan dipecah menjadi sulfid, dan dioksidasi menjadi sulfat dengan bantuan adanya oksigen. Dan dalam mendegradasi fosfat, PAO akan mengkonsumsi cadangan karbon internal dan substrat yang tersedia untuk menghasilkan energi yang akan menghasilkan akumulasi dan penyerapan fosfat sebagai polifosfat (Comeau Y, 1986).

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa tiap variasi kombinasi sistem biofilter memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, dari penjabaran sebelumnya reaktor 1 (aerob-anaerob) pendegradasian fosfat lebih tinggi dikarenakan penyerapan fosfat terjadi dua kali, pada reaktor aerob dan pada kondisi aerob dalam reaktor anaerob, dan tidak terjadi perebutan asetat substrat penyimpan karbon pada kondisi anaerob. Sedangkan pada reaktor 2 (anaerob-aerob) pendegradasian detergen (LAS) lebih tinggi tetapi pendegradasian fosfatnya lebih rendah dari reaktor 1, hal tersebut dikarenakan dalam mendegradasi detergen (LAS) pada proses awal anaerob dalam prosesnya metabolit yang dihasilkan akan menjadi substrat untuk organisme selanjutnya secara berkelanjutan dan disempurnakan proses degradasi pada reaktor aerob sehingga hasil penurunannya menjadi tinggi, dan yang menyebabkan penurunan fosfat kurang maksimal pada reaktor 2 karena pada proses awal anaerob terjadi adanya perebutan asetat sebagai substrat, dimana pada proses pendegradasian detergen asetat digunakan bakteri metanogenik untuk produksi biogas, sedangkan pada proses pendegradasian fosfat asetat diperlukan sebagai substrat penyimpanan karbon dalam proses pelepasan fosfat.

### Pengamatan Karakteristik Biofilm dan Mikroorganisme yang Berperan

Pada proses biofilter kali ini terdapat lapisan biofilm yang tumbuh dan menempel pada permukaan media *bioball*. Dengan adanya biofilm yang menempel pada permukaan media, maka proses pendegradasian bahan pencemar dengan menggunakan mikroorganisme telah berlangsung. Jika diamati secara fisik, biofilm yang terdapat pada proses aerob tumbuh dengan bentuk menyerupai granular dan berwarna coklat pada permukaan media, pada kondisi aerob fenomena pertumbuhan biofilm dapat dikaitkan pula dengan kadar oksigen terlarut yang ada di dalam reaktor aerob, dimana pada penelitian kali ini pengecekan kadar oksigen terlarut dilakukan setiap minggu sekali pada proses *seeding*.

**Grafik 3.** Hubungan Kadar DO Terhadap Waktu Pada Tiap Variasi Kombinasi Sistem Biofilter



Sumber : Anissa Feniis, 2020

Dapat dilihat dari grafik kadar DO pada masing-masing reaktor di setiap minggunya, untuk reaktor 1 (aerob-anaerob) dimana reaktor aerob ada di proses pertama maka jika dilihat dari pengecekan kadar DO dari minggu ke minggu mengalami peningkatan, sedangkan pada reaktor 2 (anaero-aerob) dimana reaktor aerob ada di proses ke dua yang menerima limpahan dari proses reaktor anaerob sehingga pada minggu kedua terjadi penurunan kadar DO, sehingga di sini dibutuhkan penambahan kadar oksigen guna meningkatkan kadar oksigen terlarut, sehingga pada minggu ke tiga kadar oksigen terlarut perlahan-lahan mulai kembali meningkat. Kadar oksigen terlarut juga mempengaruhi pertumbuhan biofilm dalam pengondisian lingkungan aerob, dimana jika semakin tinggi kadar oksigen terlarut (dalam

batas tertentu) dalam sebuah reaktor maka semakin pesat pula pertumbuhan dan penebalan biofilm. Dari pengamatan fisik pada penelitian kali ini terlihat bahwa biofilm dalam reaktor aerob pada reaktor 1 (aerob-anaerob) lebih cepat menebal jika dibandingkan dengan reaktor aerob pada reaktor 2 (anaerob-aerob). Hal tersebut didukung oleh (Norsker et al., 1995) yang mengatakan bahwa adanya kadar oksigen terlarut dalam proses pengolahan biologis biakan melekat sangat mempengaruhi pesat tidaknya pertumbuhan biofilm, semakin tinggi kadar oksigen terlarut maka semakin pesat pula proses pertumbuhan atau penebalan biofilm, kadar DO atau oksigen pada kondisi aerob terlarut dijaga >2 mg/l.

Pada proses anaerob tumbuh dengan bentuk seperti selaput berwarna coklat transparan pada permukaan media, dalam reaktor anaerob tidak ada kadar oksigen terlarut di dalamnya, dimana kadar DO pada kondisi anaerob 0 mg/l, juga terdapat faktor lain pula yang menandakan adanya mikroorganisme yang bekerja dalam proses anaerob yaitu, adanya gelembung-gelembung tidak bergerak pada sisi-sisi media, hal tersebut dikarenakan proses anaerob menghasilkan produk samping berupa gas metan, dan gas metan pula yang menimbulkan bau tidak sedap pada proses anaerob. Dari pengamatan fisik pada penelitian kali ini terlihat bahwa pertumbuhan atau penebalan biofilm sedikit lebih cepat pada reaktor 1 (aerob-anaerob) dibanding dengan reaktor 2 (anaerob-aerob), hal tersebut dikarenakan karna masih adanya kandungan oksigen terlarut (meskipun tidak melipah) pada air olahan akibat dari pengolahan aerob sebelumnya, namun pada akhirnya kondisi yang tercipta pada proses anaerob dalam reaktor 1 (aerob-anaerob) bukanlah kondisi anaerob mutlak, melainkan menjadi anaerob fakultatif, sedangkan pada proses anaerob dalam reaktor 2 (anaerob-aerob) mungkin kondisinya adalah anaerob mutlak karena proses awal dari reaktor 2 adalah proses anaerob.

Pada penelitian kali ini tidak dilakukan pengukuran terhadap ketebalan biofilm pada media, akan tetapi menurut (Said, 2006) ketebalan untuk biofilm yang melekat pada permukaan media berkisar 0,07 – 0,15 mm, tergantung dengan konsentrasi substratnya. Pendegradasian beban organik dapat terjadi

karena senyawa polutan yang ada dalam air limbah terdifusi masuk ke dalam biofilm yang melekat pada media, mikroorganisme bertugas menguraikan ke dalam bentuk yang lebih sederhana seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan biomassa. Senyawa polutan terdifusi ke dalam biofilm dan diuraikan oleh mikroorganisme menghasilkan energi yang akan diubah menjadi biomassa (Said, 2017).

Pada penelitian kali ini dilakukan pengujian mikroorganisme, dan menurut hasil uji menunjukkan bahwa mikroorganisme jenis *Pseudomonas aeruginosa* terdeteksi positif dalam proses aerob, sedangkan pada proses anaerob mikroorganisme jenis *Pseudomonas aeruginosa* tidak terdeteksi positif. *Pseudomonas aeruginosa* merupakan mikroorganisme yang mempunyai sifat aerob obligat, dimana mikroorganisme tersebut hanya dapat hidup dalam kondisi aerob dengan adanya oksigen (Kurnia et al., 2015).

Namun pada penelitian kali ini tidak dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai spesies bakteri jenis lain yang bekerja secara spesifik pada tiap prosesnya, namun jika ditinjau dari beberapa literatur terdahulu, menurut (Said, 2001), mikroorganisme yang dapat mendegradasi detergen LAS antara lain yaitu *Pseudomonas*, *Acetobacte*, *Bacillus*, dan *Streptococcus*. Dimana *Pseudomonas* dan *Acetobacter* ini tergolong mikroorganisme jenis aerob, sehingga mikroorganisme tersebut hanya dapat hidup dengan adanya oksigen, *Acetobacter* berperan mengoksidasi alkohol menjadi asam asetat dalam proses aerob, sedangkan *Bacillus* dan *Streptococcus* sendiri tergolong mikroorganisme yang hidup pada kondisi anaerob fakultatif, dimana mikroorganisme dapat hidup baik dengan ada atau tidak adanya oksigen.

Ada pula bakteri *Desulfuvibrio*, *Desulfuvibrio* sendiri merupakan bakteri pereduksi sulfat pada kondisi anaerob (Widyati, 2007), yang digunakan untuk mereduksi sulfat yang merupakan hasil dari proses oksidasi sulfonat pada proses aerob.

Menurut (Khusnuryani, 2008) mikroorganisme yang tergolong PAO (*Polyphosphate Accumulating Organisms*) yang hidup pada kondisi aerob antara lain adalah *Pseudomonas*, dimana *Pseudomonas* ini



tergolong mikroorganisme jenis aerob, sehingga mikroorganisme tersebut hanya dapat hidup dengan adanya oksigen, dalam mendegradasi fosfat *Pseudomonas* memiliki peran dalam mengkonsumsi cadangan karbon internal dan substrat yang tersedia untuk menghasilkan energi yang akan menghasilkan akumulasi dan penyerapan fosfat sebagai polifosfat. Dan PAO pada kondisi anaerob antara lain adalah *Acinetobacter*, *Acinetobacter* sendiri tergolong mikroorganisme jenis anaerob fakultatif, dimana mikroorganisme dapat hidup baik dengan ada atau tidak adanya oksigen.

## KESIMPULAN

1. Pengolahan air limbah *laundry* dengan metode kombinasi sistem biofilter aerob-anaerob maupun anaerob-aerob dalam menurunkan kadar Detergen (LAS) dan Fosfat dapat dikatakan efektif, dengan % removal pada biofilter kombinasi aerob-anaerob untuk kadar Detergen (LAS) sebesar 97,08% dan Fosfat sebesar 85,39%, dan pada biofilter kombinasi anaerob-aerob untuk kadar Detergen (LAS) sebesar 97,19% dan Fosfat sebesar 82,51%, dimana hasil dari efluen kedua variasi jenis biofilter kombinasi tersebut telah memenuhi baku mutu PERGUB JATIM No. 72 Tahun 2013
2. Dalam proses penelitian secara *batch* dengan variasi sistem biofilter aerob-anaerob dan anaerob-aerob ada beberapa pengaruh seperti proses penyerapan yang terjadi dan ketersediaan substrat dalam proses pengolahan yang menjadikan tiap sistem biofilter baik biofilter aerob-anaerob maupun biofilter anaerob-aerob memiliki keunggulan masing-masing, Sistem biofilter aerob-anaerob unggul dalam penyisihan Fosfat sebesar 85,39%, Sedangkan sistem biofilter anaerob-aerob unggul dalam penyisihan Detergen (LAS) sebesar 97,19%. Sedangkan untuk proses penelitian secara kontinyu dengan variasi waktu sampling (2, 4, 6, 8, dan 10 jam) menghasilkan tren pada grafik dengan menunjukkan hasil penurunan yang stabil dengan hasil untuk penurunan Detergen (LAS) sebesar 88,95 – 98,83%, dan fosfat sebesar 84,82 – 86,96%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Khusnuryani, A. (2008). Mikrobial Sebagai Agen Penurun Fosfat Pada Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit. *Seminar Nasional Aplikasi Sains and Teknologi*, 144–151.
- Kurnia, D. R. D., Permatasari, I., & Rafika, Y. (2015). Isolasi Mikroorganisme Anaerob Limbah Cair Tekstil Menggunakan Desikator Sebagai Inkubator Anaerobik. *Fluida*, 11(1), 26–33.
- Merrettig-bruns, U., & Jelen, E. (2009). *Anaerobic Biodegradation of Detergent Surfactants*. 181–206.
- Norsker, N. H., Nielsen, P. H., & Hvitved-Jacobsen, T. (1995). Influence of oxygen on biofilm growth and potential sulfate reduction in gravity sewer biofilm. *Water Science and Technology*, 31(7), 159–167.
- Said, N. I. (2001). Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit Dengan Proses Biologis Biakan Melekat Menggunakan Media Plastik Sarang Tawon. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2(3), 223–240.
- Said, N. I. (2005). *Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter*. 1(1).
- Said, N. I. (2006). Aplikasi Proses Biofiltrasi Dan Ultra Filtrasi Untuk Pengolahan Air Minum. *Jurnal Air Indonesia*, 2(1), 30–42. <https://doi.org/10.29122/jai.v2i1.2285>
- Said, N. I. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Erlangga.
- Sawyer. (1978). *Chemistry for Environmental Engineering* (Third Edit). McGrawHill Book Company.
- Scott, M. J., & Jones, M. N. (2000). The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*, 1508(1–2), 235–251.
- WIDYATI, E. (2007). The use of sulphate-reducing bacteria in bioremediation of ex-coal mining soil. *Biodiversitas, Journal of Biological Diversity*, 8(4), 283–286.
- Y, C. (1986). *BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL*. 20(12), 1511–1521.