

# Pemisahan *Biosludge* Pada Proses Integrated Fixed Film Activated Sludge Dengan *Biofilter* Sebagai Pengganti Sedimentasi

Ridwan Subrata<sup>1\*</sup>, Sri Sumiyati<sup>1</sup> dan Sudarno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia; Email: [ridwansubratamtl26@gmail.com](mailto:ridwansubratamtl26@gmail.com)

## ABSTRAK

Pemisahan padatan mikroorganisme atau *biosludge* dari air hasil olahan di proses pengolahan air limbah sistem biologi aerobik biasanya menggunakan proses sedimentasi yang membutuhkan lahan yang luas. Saat ini dengan lahan terbatas dan mahal, pemisahan dengan proses sedimentasi telah menjadikan permasalahan. Tujuan penelitian ini adalah mencari alternatif pengganti proses sedimentasi dengan kebutuhan lahan yang lebih kecil, yaitu dengan proses *biofilter*. Selama ini proses *biofilter* atau bak aerasi yang ditambahkan media bakteri, yang dikenal sebagai *IFAS (Integrated Fixed Film Activated Sludge)*, sebagai tempat untuk mendegradasi kandungan *organic biodegradable* dan tempat proses nitrifikasi. Penerapan *biofilter* kedua pada rangkaian instalasi pengolahan air limbah, dirancang sebagai fungsi utama untuk pemisah mikroorganisme/*biosludge*. Penelitian menggunakan IPAL dengan unit proses Ekualisasi, *IFAS* dan *Biofilter*. *Biofilter* menggunakan bioball berbahan plastik yang terlekat bakteri dengan tinggi bed 1,3 m. Air limbah sebagai makanan mikroorganisme dibuat secara artifisial. Penelitian difokuskan pada dua variabel yang berpengaruh yaitu nilai TSS *inlet* dan filtration Rate. Sistem biofiltrasi dapat mensubstitusi metode sedimentasi bilamana nilai *filtration rate* diatas 1,0 m/jam dengan TSS *inlet* minimum 250 mg/l. Hasil percobaan menunjukkan bahwa Pada Nilai TSS *inlet* 250 mg/l dengan *filtration rate* 1,19 m/jam menghasilkan TSS *outlet* 94 mg/l atau dengan efisiensi reduksi sebesar 62%.

**Kata Kunci:** *Biofilter*, Pemisahan *Biosludge*, *Biofilter* Pengganti Sedimentasi, *IFAS*, Bioball

## ABSTRACT

Separation of solid microorganisms or *biosludge* from treated water in the wastewater treatment process of aerobic biological systems usually uses a sedimentation process. At present, with limited and expensive land and an easier demand for wastewater processing operations, separation from the sedimentation process has become a problem. The sedimentation facility requires a large area and difficult operation, especially for aeration tanks which contain lots of filamentous bacteria. The purpose of this research is to find an alternative to replace the sedimentation process with a *biofilter* process. So far, the *biofilter* process or aeration basin added with bacterial media is known as a place to degrade biodegradable organic content and a place for the nitrification process. The *biofilter* system is widely known as *IFAS (Integrated Fixed Film Activated Sludge)*. The application of the second *biofilter* in a series of wastewater treatment plants is designed as the main function for the filter so that it is expected to be able to filter out the *biosludge*. The study used WWTP with the Equalization process unit, *IFAS* and *Biofilter*. The *biofilter* uses a plastic bioball that is attached to bacteria with a bed height of 1.3 m. Wastewater as food for microorganisms is created artificially. The research focused on two influential variables, namely the inlet TSS value and the filtration Rate. The biofiltration system can substitute the sedimentation method if the filtration rate is above 1.0 m/hour with TSS inlet above 250 mg/l. The experimental results show that the inlet TSS value of 250 mg/l with a filtration rate of 1.19 m/hour produces an outlet TSS of 94 mg/l or with a reduction efficiency of 62%.

**Keywords:** *Biofilter*, *Biosludge* Separation, Sedimentation Replacement *Biofilter*, *IFAS*, Bioball

**Citation:** Subrata, R., Sumiyati, S., Sudarno. (2023). Pemisahan *Biosludge* Pada Proses Integrated Fixed Film Activated Sludge Dengan *Biofilter* Sebagai Pengganti Sedimentasi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(1), 57-67, doi:10.14710/jil.21.1.57-67

## 1. Pendahuluan

### Tentang IPAL Activated Sludge

Pengolahan air limbah organik umumnya digunakan sistem biologi baik secara anaerobik maupun aerobik (Said & Firly, 2018). Pada awal tahun 1990 sistem pengolahan lumpur

aktif/activated sludge menjadi populer karena merupakan sistem pengolahan yang cukup murah dan relatif meninggalkan sedikit lumpur (Pranoto et al., 2020; Rajasulochana & Preethy, 2016). Sistem lumpur aktif utamanya terdiri dari dua unit proses yaitu proses aerasi dan proses sedimentasi yang dilakukan pada bak atau tanki yang berlainan (Said

& Utomo, 2011; Jenkins et al., 2003). Kekurangan sistem *activated sludge* terutama *extended aeration* adalah dibutuhkan lahan yang lebih luas dibandingkan sistem lainnya seperti sistem kimia-fisika (Cheresiminoff, 1996). Kebutuhan lahan yang cukup luas menjadikan kelemahan dari sistem ini terutama dirasakan pada 10 tahun terakhir dimana ketersediaan lahan yang terbatas dan mahal terutama di daerah perkotaan (Aditia, 2020). Disamping itu bagi industri yang telah berjalan, dengan lahan yang relatif tidak tersedia lagi dan fasilitas IPAL eksisting harus ditingkatkan kapasitasnya untuk mengejar jumlah air limbah yang meningkat. Para ahli rekayasa teknologi pengolahan air limbah mengadakan serangkaian riset dan menciptakan inovasi-inovasi untuk menutupi kekurangan sistem ini.

Inovasi pada proses aerasi untuk dapat memperkecil kebutuhan lahan adalah dengan memasukan biomedial (*carrier*) ke dalam bak aerasi (Moga et al., 2018). *Carrier* yang ditambahkan ada yang bersifat *fluidized (moving)* maupun *fixed* (Wang et al., 2019). Mikroorganisme akan melekat di *carrier* dan bertumbuh kembang dipermukaannya (Waqas et al., 2020). Sistem ini dikenal dengan nama IFAS atau *Integrated Fixedfilm Activated Sludge* (Dias et al., 2018; Rosso et al., 2011). Sistem IFAS dibagi menjadi dua yaitu sistem dengan media tetap dan media tersebar (Monazami Tehrani et al., 2018). Jika dalam sistem *extended aeration activated sludge* MLSS sekitar 3500 sampai 5000 mg/l (Metcalf & Eddy, 2003), pada sistem IFAS, MLSS pada kisaran 100 sampai 600 mg/l. Mengecilnya nilai MLSS disebabkan karena mikroorganisme menempel di *carrier* (Waqas et al., 2020). Sistem IFAS, MLSS akan meningkat karena adanya mikroorganisme yang terkonsentrasi melekat di *carrier* atau biomedial. Sedangkan MLSS tersuspensi yang berada dalam cairan jumlahnya akan menurun (Brentwood, 2009). Sistem IFAS masih membutuhkan proses pemisah mikroorganisme dari air hasil olahannya di *clarifier* atau sedimentasi (Anhar et al., 2021; Sri Martini et al., 2020). Dengan penambahan *carrier* ini luas lahan bisa diperkecil menjadi setengah sampai seperempatnya. Untuk memperkecil lahan pada proses sedimentasi, banyak sistem diciptakan para ahli diantaranya yaitu penggunaan *micro sand* (Metcalf & Eddy, 2003), *disc filter*, *lamella clarifier* (Metcalf & Eddy, 2003) yang kesemuanya berkategori *high rate clarifier* (Thomas et al., 2005). Dengan *micro sand* dan *disc filter*, lahan yang digunakan akan turun sampai sepersepuluhnya. Hanya saja pada proses ini dibutuhkan *polymer* untuk pembentukan flok yang lebih besar sehingga meningkatkan biaya operasi (Hartojo, 2020). Kekurangan lainnya yaitu pada implementasinya biaya capital masih sangat tinggi.

Pada penelitian ini dicari alternatif pengganti sedimentasi dengan memanfaatkan efek dari

*biofilter* sebagai pemisah mikroorganisme dan air hasil olahannya. Selama ini penelitian tentang *biofilter* banyak mengkaji tentang efisiensi reduksi atau nilai *surface loading rate* terhadap penurunan nilai organik yang direpresentasikan sebagai COD dan BOD baik pada jenis *carrier* maupun bentuknya.

Tujuan dari penelitian ini mencari alternatif lain proses pemisahan padatan mikroorganisme (*biosolid*) sebagai pengganti proses sedimentasi yang umum diimplementasikan saat ini. Terdapat dua variabel bebas yang diteliti yaitu: (1) Pengaruh nilai TSS pada nilai *filtration rate* yang tetap. (2). Pengaruh *filtration rate* pada TSS yang tetap.

## 2. Metodologi

Penelitian dilakukan di rumah tinggal menggunakan IPAL berkapasitas kecil yaitu 2,5 m<sup>3</sup>/hari pada COD 600 mg/l dan BOD 400 mg/l. Unit proses utama digunakan adalah (1) Equalisasi (2) Bioreaktor IFAS dan (3) *Biofilter*. Unit proses lainnya adalah *sludge tank* yang berfungsi sebagai pengatur MLSS atau TSS di Equalisasi dan Bioreaktor IFAS. Alat control yang digunakan adalah flowmeter baik untuk air limbah maupun untuk udara.

### 2.1 Proses Pengolahan Air Limbah

Proses pengolahan air limbah utama dengan menggunakan *reactor biofilter aerobic* sistem IFAS dan pemisahan *biosludge* dengan *biofilter* juga. Proses equalisasi ditambahkan agar fluktuasi air limbah dalam hal ini fluktuasi TSS dapat diatur. Pada penelitian juga dilengkapi dengan *biosludge tank* sebagai sumber TSS yang berfungsi untuk menjaga nilai TSS di IFAS sesuai dengan desain eksperimen, Rangkaian unit proses digambarkan pada Gambar 1.

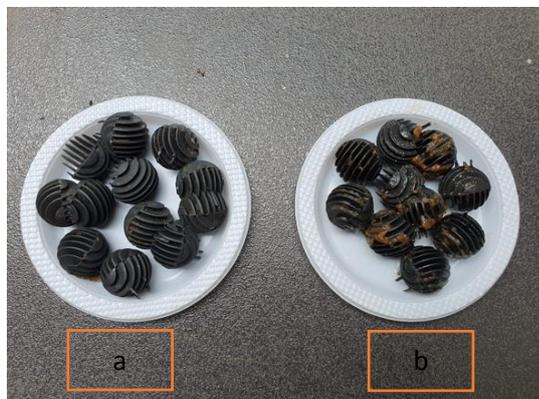


Gambar 1 Rangkaian Unit Proses Percobaan

Jenis biomedial digunakan di tanki aerasi IFAS adalah model *hanging* dengan bentuk *carrier* filamen/benang sesuai dengan Gambar 2. Biomedial yang digunakan di *Biofilter* adalah model *bioball* berdiameter 3 cm yang berbahan plastik sesuai dengan Gambar 3. Air limbah digunakan dibuat secara *artificial*, kombinasi gula tebu, susu bubuk, urea dan TSP.



**Gambar 2** Biomedial sebelum dan setelah Perlekatan



**Gambar 3** Carrier di *Biofilter*

- (a) Carrier sebelum terlekatinya mikroorganisme
- (b) Carrier setelah terlekatinya mikroorganisme

Volume Tanki Equalisasi adalah 350 lt, Tanki IFAS 1000 lt, Tanki *Biofilter* adalah 1000 lt dan untuk *Sludge Tank* 1000 lt. besaran volume tersebut diatas cukup untuk mengolah air limbah sebanyak 2.5 m<sup>3</sup>/hari dengan nilai BOD 400 mg/l (0,4 kg/m<sup>3</sup>) atau dengan beban BOD = 2,5 m<sup>3</sup>/hari x 0,4 kg/m<sup>3</sup> = 1 kg/hari. Beban BOD tersebut merupakan beban maksimal. Tinggi biomedial (*carrier*) adalah 130 cm.

Air limbah *artificial* dibuat di Tanki Equalisasi dengan mengalirkan air sumur dan penambahan bahan organik. Bahan organik dipakai adalah campuran antara gula dan susu bubuk dengan perbandingan 80% gula dan 20% susu bubuk yang digunakan sebagai sumber karbon, urea sebagai sumber Nitrogen dan TSP (Tri Sodium Pospat) sebagai sumber Phosphor sesuai dengan perbandingan yang dibutuhkan yaitu BOD : N : P = 100 : 5 : 1. Sumber karbon ditambahkan adalah 0,6 kg per hari untuk menjamin tercukupinya makanan mikroorganisme.

Penelitian dilakukan dua kelompok percobaan yaitu kelompok pertama terhadap variabel bebas pada masing-masing besaran nilai TSS (MLSS) di Tanki IFAS, yaitu pada kisaran 80 mg/l, 160 mg/l, 240 mg/l, 320 mg/l dan 400 mg/l. sedangkan variabel tetap adalah nilai *filtration rate* di level 0,55 m/jam. Kelompok kedua percobaan adalah nilai *filtration rate* sebagai variabel bebas yaitu pada kisaran 0,6 m/jam, 0,8 m/jam, 1,0 m/jam, dan 1,19 m/jam sedangkan sebagai variabel tetap adalah nilai TSS di IFAS yang diatur pada kisaran 250 mg/l.

Percobaan dibagi dalam tiga tahapan pengerjaan yaitu: tahapan ke-1 perlekatan mikroorganisme. Tahapan ke-2 percobaan pengaruh variabel bebas nilai TSS masuk *Biofilter*. Tahapan ke-3 percobaan pengaruh variabel bebas *filtration rate*.

Percobaan tahapan ke-1 yaitu perlekatan mikroorganisme selama 46 hari. Percobaan tahapan ke-2 dilakukan 1 hari dan tahapan ke-3 dilakukan 3 hari.

Perlekatan mikroorganisme (*biosludge*) pada dinding *carrier* dilakukan dengan merendam biomedial yang ada di IFAS dan *biofilter* dengan *biosludge* yang berasal dari Sedimentasi IPAL industri susu UHT dan *yoghurt*. Diambil *biosludge* dari sedimentasi IPAL dikarenakan konsentrasi *biosludge* di sedimentasi lebih tinggi dibandingkan di bak aerasi, sehingga volume pengambilan *biosludge* untuk penelitian lebih sedikit. Pengambilan *biosludge* dari industri susu UHT dan *yoghurt* alasan pertama adalah industri tersebut memproduksi UHT dan *yoghurt*, alasan kedua dikarenakan bakteri yang terkandung di IPAL jenis industri ini banyak berbentuk filamen, sehingga memudahkan dalam perlekatan pada biomedial. Pada fase ini, nilai MLSS atau TSS akan turun disebabkan oleh adanya mikroorganisme yang menempel di *carrier*. Penambahan *biosludge* dari luar dilakukan 6 kali secara bertahap. Kondisi dikatakan telah terjadi perlekatan adalah dengan pengamatan secara visual pada permukaan *carrier* yang telah terlekatinya mikroorganisme, terlihat adanya lapisan lendir dan flok berwarna coklat yang menempel di *carrier* seperti yang terlihat di gambar 3b.

Percobaan tahapan ke-2, yaitu pencapaian efisiensi reduksi TSS pada variasi nilai TSS pada nilai *filtration rate* tetap yaitu di 0,55 m/jam, diawali dengan mengatur TSS yang akan masuk ke *biofilter* yaitu di Bak IFAS dan Equalisasi agar nilai TSS sesuai dengan desain eksperimen yang dimulai dari TSS yang rendah yaitu 80 mg/l dengan menambahkan TSS dari *Biosludge Tank*. Setelah 90 menit TSS hasil filtrasi diukur. Untuk variabel TSS ke-2 yaitu 160 mg/l, dilakukan penambahan *biosludge* dari *biosludge tank* sampai pada angka yang dikehendaki. Sampel hasil filtrasi diambil setelah 80 menit dan dilakukan pengukuran nilai TSS. Untuk nilai TSS berikutnya dilakukan hal yang sama. Penentuan waktu filtrasi 90 menit adalah dari waktu tinggal/*retention time* (RT) efektif, yang ada di *Biofilter Tank*. Hal ini sesuai dengan desain eksperimen sebagai berikut:

**Tabel 1.** Desain Ekperimen Variabel Bebas TSS *Inlet*

Percobaan	<i>Filtration Rate</i> , (m/jam)	TSS <i>inlet</i> (mg/l)
1	0,55	80
2	0,55	160
3	0,55	240
4	0,55	320
5	0,55	400

\*Respon pada penelitian ini adalah Nilai TSS *Outlet*

Percobaan tahapan ke-3 dengan variabel bebas nilai *filtration rate*, dilakukan dengan mengeset posisi *valve* untuk mengatur aliran yang akan masuk ke IFAS dari pompa yang berada di tanki Equalisasi. Nilai *filtration rate* yang dicobakan adalah pada kisaran 0,6 m/jam, 0,8 m/jam, 1.0 m/jam dan 1,19 m/jam. Sebagai variabel tetap adalah nilai TSS masuk ke *biofilter* pada nilai kisaran 250 mg/l. Pada awalnya TSS di Equalisasi dan IFAS diatur pada TSS 250 mg/l dengan memasukkan *biosludge* dari *Biosludge Tank*. Desain eksperimen bisa dilihat di Tabel. 2.

**Tabel 2.** Desain Ekperimen Variabel Bebas *Filtration Rate*

Percobaan	<i>Filtration Rate</i> , (m/jam)	TSS <i>inlet</i> (mg/l)
1	0,5	250
2	0,6	250
3	0,8	250
4	1,0	250
5	1,19	250

\*Respon pada penelitian ini adalah Nilai TSS *Outlet*

Kemudian aliran pompa dari Tanki Ekualisasi diatur pada awal percobaan di *filtration rate* 0,6 m/jam dengan mengeset *valve* yang akan masuk ke Tanki IFAS. Aliran dari Equalisasi dilengkapi dengan *Flow meter* sehingga memudahkan dalam pembacaan aliran/debit. Kemudian setelah beberapa waktu, sesuai dengan *retention time* percobaan TSS hasil filtrasi diukur. Percobaan

berikutnya dilakukan hal yang sama disesuaikan dengan nilai *filtration rate* yang dicobakan.

## 2.2 Metoda Sampling Dan Alat Yang Digunakan

*Sampling* dilakukan pada TSS/MLSS *inlet* dan *outlet Biofilter*. Kemudian dibandingkan nilai TSS *inlet* dan *outlet* dan dihitung prosentase reduksinya sebagai efisiensi dari *Biofilter*. Waktu *sampling* disesuaikan dengan waktu tinggal yang ada di *Biofilter*. Volume air di *Biofilter* sama dengan volume Tanki *Biofilter* dikurangi volume *carrier*. Waktu tinggal atau *retention time (RT)* dihitung dari Volume air yang ada di *Biofilter* (m<sup>3</sup>) dibagi debit masuk (m<sup>3</sup>/jam). Dari perhitungan didapat volume air efektif 0,726 m<sup>3</sup> dan waktu tinggal 80 menit.

Dengan perhitungan yang sama, untuk debit lebih kecil dibutuhkan waktu lebih lama dan sebaliknya jika lebih besar dibutuhkan lebih sebentar.

TSS ditest dengan metode *colorimetric* dengan menggunakan alat spektrofotometer dari brand HACH Type DR 900. Pada alat tersebut, *range* pengukurannya adalah 0-750 mg/l dengan tingkat akurasi pengukuran TSS sebesar 98%. Untuk QA/QC dilakukan kalibrasi alat 1 kali dalam setahun.

Untuk perhitungan beban TSS yang terfiltrasi digunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Beban TSS yang dapat difiltrasi} = (\text{TSS inlet} - \text{TSS outlet}) \times \text{Debit}$$

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Fase Perlekatan Mikroorganisme ke Biomedia

Perlekatan mikroorganisme di dinding *carrier* berlangsung 46 hari. Perlekatan telah berlangsung jika lapisan mikroorganisme terlihat menutupi merata di permukaan *carrier*. Pada pengamatan secara *visual* terlihat semua permukaan dinding *carrier* berlendir dan sebagian terlihat sekelompok mikroorganisme (*biofloc*) berwarna coklat terjebak disela-sela sirip *carrier* [Gambar 3 (b)]. Ketebalan mikroorganisme sangat bervariasi dari 1 mm sampai sekitar 3 mm. Pada Tabel 3, ketika awal dilakukan pemasukan larutan mikroorganisme dengan nilai MLSS 3640 mg/l, setelah 10 hari turun menjadi 5 mg/l atau dengan kecepatan pengurangan konsentrasi sebesar 364 mg/l/hari, dapat dilihat pada Tabel 1.

Hal ini mengindikasikan mikroorganisme menempel di permukaan *carrier*. Terlihat di grafik tajam sekali mengalami penurunan dalam 10 hari tersebut hal ini menunjukkan luasan dinding *carrier* masih kosong sehingga diperlukan penambahan mikroorganisme. Pada penambahan kedua terlihat di Tabel 1 nilai TSS/MLSS berada pada nilai 2100 mg/l. Selama 8 hari turun menjadi 5 mg/l. Penambahan mikroorganisme berikutnya

menjadikan TSS/MLSS naik pada konsentrasi 331 mg/l. Setelah 8 hari kemudian turun menjadi 7 mg/l. terlihat grafik semakin landai. Pada penambahan terakhir di hari ke 44 dengan konsentrasi dari 254 mg/l turun menjadi 150 mg/l turun selama 3 hari atau dengan kecepatan penurunan konsentrasi sebesar 35 mg/l/hari. Di grafik pada Gambar 4 terlihat kemiringan grafik semakin landai. Hal ini menandakan mikroorganisme yang menempel kecepatannya semakin menurun. Pernyataan ini juga diperkuat oleh hasil penelitian yang dilakukan oleh Nevya Rizki pada tahun 2017, yaitu penelitian pada limbah cair tahu dengan teknologi kolam (*pond*)-*biofilm* menggunakan *biofilter* jaring ikan dan *bioball*. Hasil penelitian menunjukkan terjadi penurunan TSS. Semakin lama waktu kontak semakin tinggi nilai reduksi TSS nya, namun kecepatan penurunan konsentrasi TSS semakin lama semakin kecil. Dari hasil penelitian tersebut terlihat bahwa pada awal proses terjadi penurunan konsentrasi yang lebih besar dibandingkan dengan fase yang lebih lama. Hal ini mengindikasikan cadangan makanan (Herlambang et al., 1999). Polisakarida bersifat cepal/lengket sehingga mudah untuk mengikat zat padat tersuspensi (Biase et al., 2019).

Sampai sejauh mana kemampuan melekatnya *suspended solid* di dinding *cell*, dilakukan penelitian agar didapat hubungan terhadap variabel yang berpengaruh. Jika TSS keluar dari *biofilter* bisa dibawah baku mutu yang ditetapkan pemerintah dan nilai *filtration rate* dapat mengurangi *space area* yang digunakan maka penelitian ini dapat diimplementasikan sebagai alternatif pengganti proses sedimentasi.

Target TSS hasil biofiltrasi sesuai dengan nilai baku mutu TSS *outlet* air hasil olahan yang diatur pemerintah yaitu 30 mg/l untuk air limbah domestik (Permen LHK No 68, 2016) sedangkan untuk sebagian air limbah industri, nilai TSS di *outlet* yang diizinkan sebagian besar sampai 50 mg/l (Permen LH No 5, 2014).

### 3.2.1 Nilai TSS inlet sebagai Variabel Bebas

Hasil percobaan ditunjukkan oleh Tabel 2 dari tabel tersebut dapat dilihat efisiensi terbesar yang dapat capai adalah 76,3% pada *filtration rate* 1,09 m<sup>3</sup>/jam dengan TSS *Inlet* 80 mg/l dan TSS *outlet* 19 mg/l. Nilai terkecil didapat pada *filtration rate* yang sama pada TSS *inlet* 398 mg/l dan TSS *outlet* 166 mg/l. Nilai efisiensi rata-rata didapat pada efisiensi dicapai 67,7%. Jika dibandingkan dengan penelitian sejenis, pada pengolahan air limbah domestik di tanki aerasi yang diisikan biomedial atau disebut juga sistem IFAS, dimana efisiensi reduksi TSS diambil dari TSS dari air limbah awal, bukan dari TSS hasil pengolahan di IFAS seperti pada penelitian ini, menunjukkan efisiensi reduksi

mikroorganisme terserap *carrier* semakin sedikit akibat dari permukaan *carrier* telah terlapisi mikroorganisme. Kondisi ini mengindikasikan rangkaian percobaan tahap berikutnya sudah bisa dimulai. Dengan demikian, pada awal fase perlekatan, kecepatan mikroorganisme terlekat pada dinding *carrier* lebih tinggi jika dibandingkan pada fase akhir.

Pada proses biofiltrasi, air limbah yang telah diolah di IFAS, yang mengandung TSS baik dari TSS dari air limbah asal maupun mikroorganisme tersuspensi, akan melewati tanki yang mengandung *carrier* menjadikan seperti *bed filter*, dimana ketika air limbah melewati lapisan media (*carrier*) yang telah terlapisi mikroorganisme, *organic biodegradable* akan diuraikan oleh mikroorganisme yang menempel di dinding *carrier* (Hassan et al., 2012). Efek lainnya yaitu *Total Suspended Solid* (TSS) akan terfilter juga oleh *carrier* yang telah terlapisi biomedial. Fenomena tersaringnya TSS akibat dari dinding *cell* mikroorganisme terlapisi oleh polisakarida sebagai penyimpan makanan berlebih yang juga sebagai TSS lebih besar yaitu nilai terbesar yang bisa dicapai 90,75%, nilai terkecil 84,6% dan rata-rata 87,9% (Said & Utomo, 2011). Kondisi lainnya yang berbeda adalah waktu tinggal atau *retention time*. Pada pencapaian efisiensi terbesar didapat pada waktu tinggal di bak IFAS 48 jam dan terkecil 12 jam. Sedangkan pada penelitian ini hanya 80 menit. Hal lain yang berbeda yaitu Jenis TSS. Jika pada penelitian dominan TSS dari TSS mikroorganisme sedangkan pada penelitian perbandingan TSS yang terkandung dari air limbah asli yang mengandung banyak TSS organik.

Nilai TSS *inlet* terkecil pada percobaan ini dirancang 80 mg/l yang menghasilkan nilai TSS *outlet* 19 mg/l dan mempunyai nilai efisiensi filtrasi 76,3%. Semakin besar nilai TSS awal, nilai efisiensi filtrasi semakin mengecil. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 6 terlihat pada TSS 153 mg/l mempunyai efisiensi filtrasi 71,2% dan seterusnya pada TSS 243 mg/l mempunyai efisiensi 62,6%. Untuk TSS *inlet* 80 mg/l hasil TSS *outlet* memenuhi baku mutu TSS air limbah domestik dan industri dimana BM air limbah domestik 30 mg/l sedangkan air limbah industri paling kecil, untuk air limbah *organic*, umumnya diangka 50 mg/l.

Namun pada nilai TSS *inlet* diangka 153 mg/l hasil filtrasi menunjukkan nilai TSS *outlet* 44 mg/l. Nilai ini diatas BM air limbah domestik, namun masih bisa untuk air limbah industri. Untuk nilai TSS *inlet* 243 mg/l menghasilkan TSS *outlet* 91 mg/l. Nilai ini masih bisa untuk sebagian industri yang mempunyai nilai BM TSS maksimum 100 mg/l. Pada nilai TSS *inlet* 333 mg/l dan 398 mg/l menghasilkan nilai TSS *outlet* 138 dan 166 mg/l. Nilai ini diatas baku mutu baik untuk domestic

maupun industri. Jika melihat dari tren grafik, penurunan efisiensi tidak tajam dan seirama dengan nilai TSS *inlet* (Gambar 7). Pada gambar 5 yang memuat grafik hubungan TSS *inlet* VS TSS *outlet* ditunjukkan oleh persamaan  $y = 0,4766x - 23,444$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9962, dimana  $y$  adalah TSS *outlet* dan  $x$  adalah TSS *inlet*. Sedangkan Gambar 6 memuat grafik hubungan TSS *inlet* VS Efisiensi reduksi TSS (hasil filtrasi) mempunyai persamaan  $y = 0,061x + 79,881$  dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,9368. dimana  $y$  adalah persentase efisiensi reduksi TSS dan  $x$  adalah nilai TSS *inlet*.

Jika diperlakukan pembatasan nilai TSS *outlet* sesuai baku mutu pemerintah, untuk air limbah domestik, dengan nilai BM TSS maksimum 30 mg/l, TSS *inlet* maksimal 112 mg/l. nilai TSS 112 mg/l didapat dari persamaan regresi dari hasil percobaan yang menghasilkan hubungan  $y = 0,4766x - 23,444$ . Untuk industri dengan baku mutu TSS 50 mg/l, dengan persamaan yang sama didapat nilai TSS *inlet* maksimal sebesar 154 mg/l.

Pengaruh pada beban TSS yang dapat difilter diperoleh untuk nilai terkecil yaitu dengan nilai TSS *inlet* 80 mg/l dan TSS *outlet* 19 mg/l yaitu sebesar 44 gr/jam. Sedangkan untuk nilai maksimalnya yaitu untuk TSS *inlet* 398 mg/l dan TSS *outlet* 166 mg/l dan dengan debit 0,55 m<sup>3</sup>/jam didapat beban TSS yang dapat difiltrasi adalah 128 g/jam.

Percobaan dengan variabel bebas TSS, menunjukkan semakin besar nilai TSS *inlet* semakin kecil nilai efisiensi nya. Meski terjadi penurunan efisiensi, untuk beban TSS yang dapat difilter, semakin besar nilai TSS *inlet* semakin besar beban TSS yang dapat difiltrasi.

Dari data percobaan, sistem pemisahan biofiltrasi bisa dilakukan untuk TSS rendah yaitu maksimum 112 mg/l dengan *filtration rate* 1,1 m/jam untuk dapat mencapai BM air limbah domestik. Sedangkan untuk BM air limbah industri, dengan *filtration rate* 1,1 m/jam dapat memfasilitasi TSS *inlet* maksimal 154 mg/l. Namun untuk nilai TSS *inlet* 250 mg/l, pada *filtration rate* 0,6 m/jam, nilai TSS *outlet* telah melampaui BM baik untuk air limbah domestik. Namun untuk air limbah industri masih bisa pada *filtration rate* 1,19 m/jam. Sebagai perbandingan standar desain *overflow rate* untuk sedimentasi, maksimum 1,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam (m/jam). Dengan demikian berdasarkan data hasil percobaan, luas area sistem biofiltrasi yang dibutuhkan, untuk TSS *inlet* maksimum 112 mg/l dan *filtration rate* 1,1 m/jam, hanya dapat menghemat 10% dibandingkan luas lahan yang diperlukan untuk sistem pemisahan biosolid secara sedimentasi. Nilai 10% tidak signifikan. Namun untuk nilai TSS *inlet*, sistem filtrasi sangat terbatas sedangkan untuk sistem sedimentasi bisa sampai 5.000 mg/l, atau setara dengan nilai MLSS di bak aerasi.

### 3.2.2 Filtration Rate sebagai Variabel Bebas.

Rangkaian percobaan ke-2 adalah sejauh mana pengaruh *filtration rate* terhadap efisiensi penurunan TSS dan berapa nilai TSS *outlet* yang didapat. Hasil percobaan ditunjukkan oleh Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat dilihat efisiensi terbesar yang dapat capai adalah 85% pada *filtration rate* 0,6 m/jam dengan TSS *Inlet* 250 mg/l dan TSS *outlet* 38 mg/l. Nilai terkecil didapat pada *filtration rate* 1,19 m/jam pada TSS *inlet* 250 mg/l dan TSS *outlet* 94 mg/l dengan capaian efisiensi 62%. Nilai efisiensi rata-rata didapat pada efisiensi dicapai 75,8%.

Perbandingan dengan penelitian sejenis, pada pengolahan awal air limbah domestik dengan *roughing filter*, dimana efisiensi reduksi TSS diambil dari TSS dari air limbah awal, bukan dari TSS hasil pengolahan di IFAS seperti pada penelitian ini, menunjukkan efisiensi reduksi TSS lebih besar yaitu terbesar yang bisa dicapai 97,31%, nilai terkecil 93,13,% dan rata-rata 94,9 % (Fitri et al., 1996). Kondisi lainnya yang berbeda adalah waktu tinggal atau *retention time*. Pada pencapaian efisiensi terbesar didapat pada *filtration rate* terendah begitupun sebaliknya. Hal lain yang berbeda yaitu Jenis TSS. Pada penelitian ini dominan TSS dari mikroorganisme sedangkan pada penelitian perbandingan TSS terkandung dari air limbah asli.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Suprihatin pada tahun 2020, debit yang terlalu cepat akan menyebabkan tidak berfungsinya filter secara efisien. Sehingga proses penyaringan tidak dapat berjalan dengan sempurna akibat adanya aliran air yang terlalu cepat dalam melewati rongga diantara butiran media filter. Hal ini menyebabkan berkurangnya waktu kontak antara permukaan butiran media filter dengan air yang disaring. Kondisi ini sesuai dengan hasil penelitian yang didapatkan yaitu semakin kecil debit maka efisiensi penyisihan TSS semakin tinggi. Selain itu, penyisihan yang baik saat kecepatan filtrasi rendah (Boller, 1993). Kecepatan filtrasi sebanding dengan nilai debit, dimana semakin kecil kecepatan filtrasi maka debit akan semakin kecil dan sebaliknya (Wegelin, 1996). Dengan kecepatan filtrasi rendah akan membantu tertahannya partikel secara gravitasi pada bagian atas media filter (Mahvi et al., 2016).

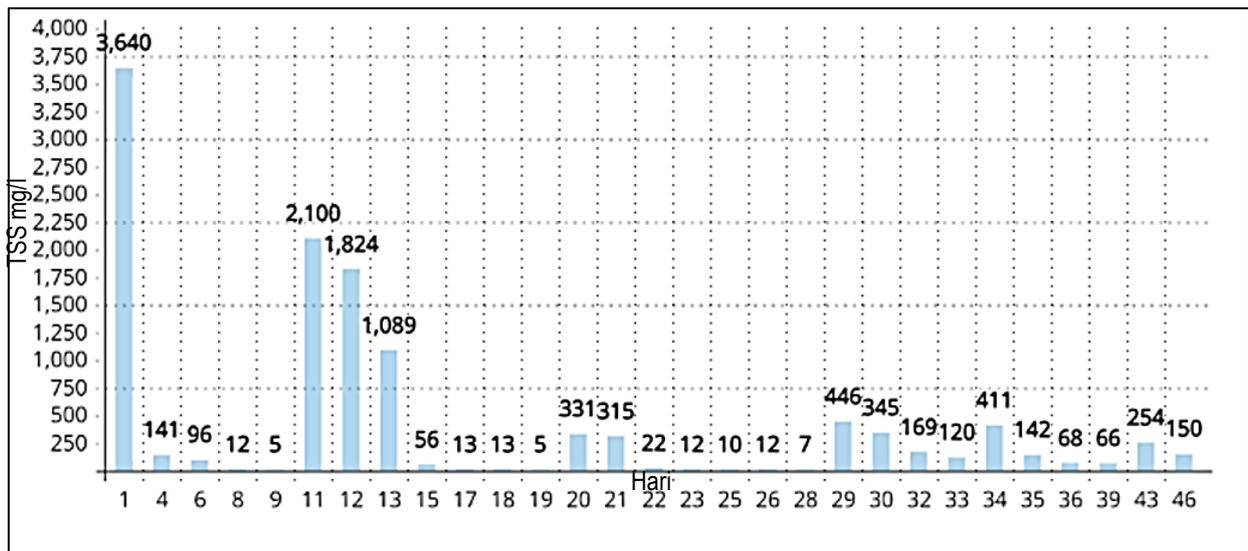
Dari hasil percobaan yang tertera di Tabel 3 terlihat bahwa semakin besar nilai *filtration rate* memberikan respon terhadap efisiensi degradasi TSS semakin kecil. Terlihat ketika *filtration rate* 0,6 m/jam dapat memberikan penurunan nilai TSS sebesar 85% dari TSS *inlet* 250 mg/l menjadi 38 mg/l. Berikutnya berturut-turut pada *filtration rate* 0,8 m/jam menghasilkan penurunan nilai TSS sebesar 82%. Untuk *filtration rate* 1,0 m/jam memberikan degradasi sebesar 74% dan pada percobaan terakhir, dengan *Filtration rate* 1,19

m/jam menghasilkan degradasi 62%. Jika dibandingkan dengan baku mutu air limbah domestik pada nilai penelitian terkecil 0,6 m/jam

sudah memberikan hasil diatas baku mutu, sedangkan untuk kategori industri, sampai nilai *filtration rate* 0,8 m/jam masih bisa memenuhi.

**Tabel 3.** Pengukuran Nilai TSS Fase Perlekatan

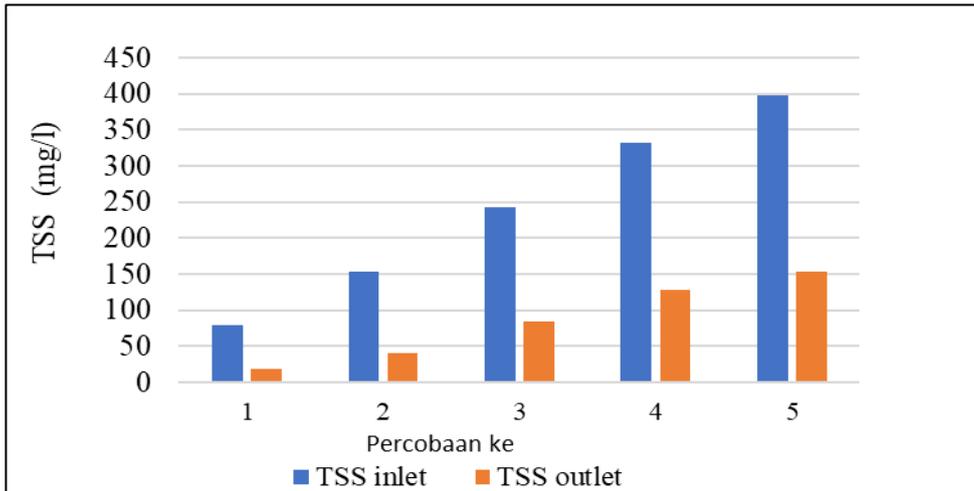
Hari ke	TSS di <i>Biofilter</i> mg/l	Hari ke	TSS di <i>Biofilter</i> mg/l
1	3640	23	12
4	141	25	10
6	96	26	12
8	12	28	7
9	5	29	446
11	2100	30	345
12	1824	32	169
13	1089	33	120
15	56	34	411
17	13	35	142
18	13	36	68
19	5	39	66
20	331	43	254
21	315	46	150
22	22		



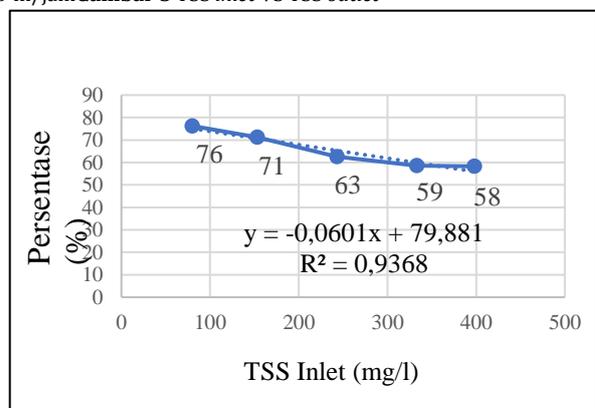
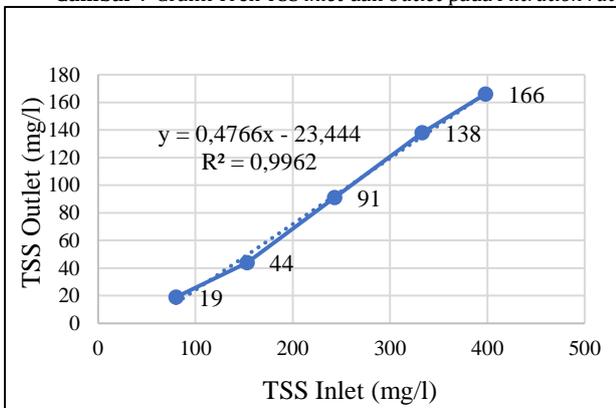
**Gambar 4** Grafik Nilai TSS Fase Perlekatan

**Tabel 4.** Data Percobaan Variabel Bebas TSS

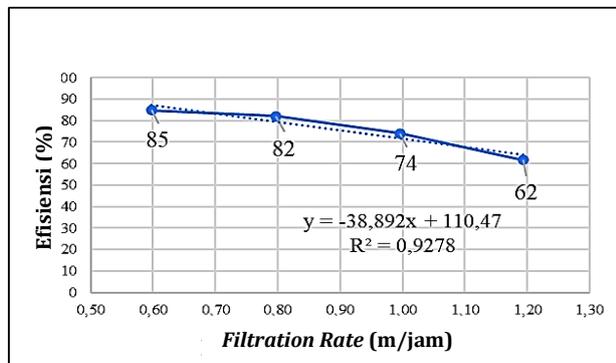
Q	Filtration Rate	TSS inlet	TSS outlet	Efisiensi
m <sup>3</sup> /jam	m/jam	mg/l	mg/l	%
0,55	1,09	80	19	76,3
0,55	1,09	153	44	71,2
0,55	1,09	243	91	62,6
0,55	1,09	333	138	58,6
0,55	1,09	398	166	58,3



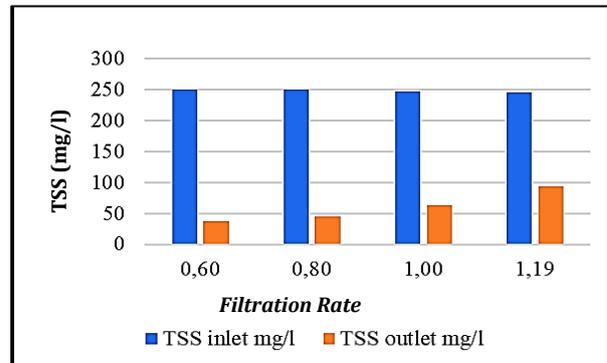
Gambar 7 Grafik Tren TSS inlet dan Outlet pada Filtration rate 1,19 m/jam



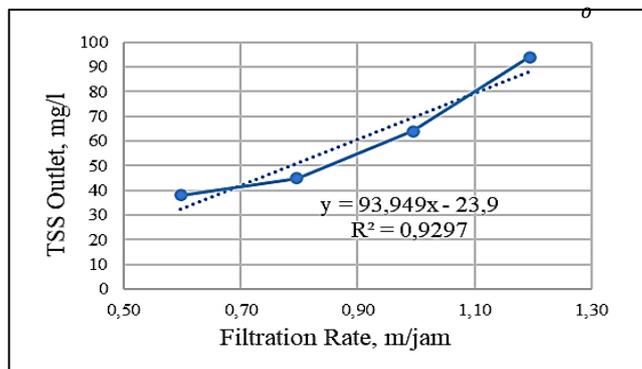
Gambar 6 TSS Inlet VS Efisiensi Penurunan TSS



Gambar 8. Filtration Rate VS Efisiensi Penurunan COD



Gambar 9 Grafik Hubungan Filtration Rate, TSS inlet dan TSS outlet



Gambar 10. Grafik Hubungan Filtration Rate dan TSS outlet

**Tabel 5.** Data Percobaan *Filtration Rate* sebagai Variabel Bebas

<i>Filtration Rate</i> m/jam	TSS <i>inlet</i> mg/l	TSS <i>outlet</i> mg/l	Efisiensi %
0,60	250	38	85
0,80	250	45	82
1,00	247	64	74
1,19	245	94	62

Pada Gambar 8 yaitu grafik *filtration rate* VS efisiensi terlihat jelas semakin besar nilai *filtration rate* memberikan efek penurunan efisiensi degradasi TSS.

Dari Gambar 9 *gap* rentang antara TSS *inlet* dan TSS *outlet* semakin besar nilai *filtration rate* memberikan respon semakin kecil. *Gap* antara TSS *inlet* dan TSS *outlet* dalam hal ini mengindikasikan efisiensi penurunan TSS semakin mengecil. Dengan berpatokan pada nilai TSS *inlet* 250 mg/l, untuk penelitian terkecil nilai *filtration rate*, yaitu 0,6 m/jam, BM TSS untuk limbah domestik telah terlampaui. Untuk limbah industri dengan nilai TSS *inlet* 250 mg/l dan *filtration rate* 0,8 m/jam, untuk sebagian industri dapat memenuhi baku mutu pada kecepatan filtrasi 0,8 m/jam setara dengan 0,8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam untuk kecepatan *overflow rate* di sedimentasi. Sedangkan nilai maksimal terjadinya pemisahan di sedimentasi adalah 1.0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/jam.

#### 4. Kesimpulan

Hasil percobaan pada percobaan variabel bebas TSS *inlet* dengan variabel tetap *filtration rate*, didapat hubungan persamaan  $y = 0,4766x - 23,444$ , dimana  $y$  adalah TSS *outlet* dan  $x$  adalah TSS *inlet*. Untuk hasil TSS *outlet* sesuai baku mutu pemerintah, pada *filtration rate* maksimum 1,1 m/jam, TSS *inlet* maksimal adalah 112 mg/l bagi air limbah domestik dan 154 mg/l bagi air limbah industri dengan nilai baku mutu TSS *outlet* 50 mg/l.

Pada percobaan dengan variabel bebas nilai *filtration rate* dan variabel tetap TSS *inlet*, didapat hubungan antara *filtration rate* dan nilai TSS *outlet* dengan persamaan  $y = 93,949x - 23,9$ , dimana  $y$  adalah nilai TSS *outlet* dan  $x$  adalah nilai *filtration rate*. Untuk hasil TSS *outlet* sesuai baku mutu pemerintah, pada TSS *inlet* maksimum 250 mg/l, *filtration rate* maksimalnya adalah 0,57 m/jam bagi limbah domestik sedangkan bagi air limbah industri 0,78 m/jam.

Dari hasil pembahasan, agar kualitas air hasil olahan masih sesuai baku mutu pemerintah, baik untuk air limbah domestik maupun air limbah industri, sistem biofiltrasi hanya bisa

diimplementasikan untuk TSS kecil dan *filtration rate* rendah, dengan demikian sistem biofiltrasi tidak *feasible* untuk dapat menggantikan sistem sedimentasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Mahvi, A. H., Moghaddam, A. M., S. N., & K. N. (2016). Performance Of A Horizontal Roughing Filtration. 1(July), 1–4.
- Aditia, A., (2020). Pengolahan Air Limbah Menggunakan Bioreaktor Membran (Brm). *Jurnal Ilmiah Maksitek* Vol. 5 No. 4 Issn. 2655-4399, 5(4), 5–24.
- Anhar., Dewi, E., & Purnamasari, I. (2021). Proses Pengolahan Air Pada Tangki Klarifier Ditinjau Dari Laju Alir Dan Konsentrasi Koagulan Di Pltg Borang Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia Water Treatment Process In The Clarifier Tank In Terms Of The Flow Rate And Coagulant. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 1(8), 315–320.
- Biase, A., Di., Kowalski, M. S., Devlin, T. R., & Oleszkiewicz, J. A. (2019). Moving Bed Biofilm Reactor Technology In Municipal Wastewater Treatment: A Review. *Journal Of Environmental Management*, 247(July), 849–866.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.053>
- Boller, M. (1993). Filter Mechanisms In Roughing Filters. *J Water Srt-Aqua*, 42(3), 174–185.  
<https://www.researchgate.net/publication/287547492>
- Brentwood. (2009). Integrated Fixed Film / Activated Sludge ( Ifas ) Technology. *Water Technology Group*, 5(June), 6.
- Dias, J., Bellingham, M., Hassan, J., Barrett, M., henson, T., & Soares, A. (2018). Influence Of Carrier Media Physical Properties On Start-Up Of Moving Attached Growth Systems. *Bioresource Technology*, 266(March), 463–471.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.096>
- Epa. (2000). Wastewater Technology Fact Sheet Package Plants. United States Environmental Protection Agency, 1–7.  
[http://www3.epa.gov/npdes/pubs/final\\_sgrit\\_removal.pdf](http://www3.epa.gov/npdes/pubs/final_sgrit_removal.pdf)
- Fitri, I. T., Samudro, G., & Sumiyati, S. (1996). Studi Penurunan Parameter Tss Dan Turbidity Dalam Air Limbah Domestik Artifisial Menggunakan Kombinasi Vertical Roughing. *Teknik Lingkungan*, 1–7.
- Hartojo, H. (2020). Optimalisasi Kinerja Ipal Melalui Diffuser Ecorator Di Pt Industri

- Jamu Dan Farmasi Sido Muncul, Tbk.
- Hassan, B. A. R., Yusoff, Z. B. M., Othman, M. A. H., Bin, S. (2012). Role Of The Biofilms In Wastewater Treatment. *Intech*, 13. [Http://Dx.Doi.Org/10.1039/C7ra00172j](http://Dx.Doi.Org/10.1039/C7ra00172j)
- Herlambang,, Arie., & Wahjono, H. D. (1999). Teknologi Pengolahan Limbah Tekstil Dengan Lumpur Aktif.
- Jenkins, D., Richard, M. G., & Daigger, G. T. (2003). Manual On The Causes And Control Of Activated Sludge Bulking, Foaming, And Other Solids Separation Problems. Manual On The Causes And Control Of Activated Sludge Bulking, Foaming, And Other Solids Separation Problems. [Https://Doi.Org/10.1201/9780203503157](https://Doi.Org/10.1201/9780203503157).
- Metcalf & Eddy. (2003). Wastewater Engineering: Treatment And Reuse (Book). In *Chemical Engineering (Issue 7, P. 421)*.
- Moga, I. C., Ardelean, I., Donu, O. G., Moiescu, C., Băran, N., Petrescu, G., & Voicea, I. (2018). Materials And Technologies Used In Wastewater Treatment. *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, 374(1). [Https://Doi.Org/10.1088/1757-899x/374/1/012079](https://Doi.Org/10.1088/1757-899x/374/1/012079)
- Monazami., Tehrani, G., Molla Mahmoudi, M., Borgheipour, H., & Nezampour, A., (2018). Evaluation Of The Efficiency Of Integrated Fixed-Film Activated Sludge Reactor For Treatment Of Wastewater From Vegetabel Oil Industries. *Archives Of Hygiene Sciences*, 7(3), 192-199. [Https://Doi.Org/10.29252/Archhygsci.7.3.192](https://Doi.Org/10.29252/Archhygsci.7.3.192)
- Rizki, N., Sutrisno, E., & Sumiyati, S. (2017). Penurunan Konsentrasi Cod Dan Tss Pada Limbah Cair Tahu Dengan Teknologi Kolam (Pond) - Biofilm Menggunakan Media *Biofilter* Jaring Ikan Dan Bioball Nevya. *Psychology Applied To Work: An Introduction To Industrial And Organizational Psychology*, Tenth Edition Paul, 53(9), 1689-1699.
- Nicholas, C. (1996). Biotechnology For Waste And Wastewater Treatment. In *Microbiology*.
- Permen Lh No 5. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951-952., 13(April), 15-38. [Http://Menlhk.Co.Id/Simppuh/Public/Uploads/Files/MLh P.5.Pdf](http://Menlhk.Co.Id/Simppuh/Public/Uploads/Files/MLh P.5.Pdf)
- Permen Lhk 16. (2016). Peraturan Menteri Lhk No.68 Th 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, 68, 1-13. [Http://Neo.Kemenperin.Go.Id/Files/Hukum/19 Permen Lhk Th 2016 No. P.63 Baku Mutu Air Limbah Domestik.Pdf](http://Neo.Kemenperin.Go.Id/Files/Hukum/19 Permen Lhk Th 2016 No. P.63 Baku Mutu Air Limbah Domestik.Pdf) A H Mahvi, M Ahmadi Moghaddam, S. N. & K. N., (2016). Performance Of A Horizontal Roughing Filtration. 1(July), 1-4.
- Permen Lhk 16. (2016). Peraturan Menteri Lhk No.68 Th 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, 68, 1-13. [Http://Neo.Kemenperin.Go.Id/Files/Hukum/19 Permen Lhk Th 2016 No. P.63 Baku Mutu Air Limbah Domestik.Pdf](http://Neo.Kemenperin.Go.Id/Files/Hukum/19 Permen Lhk Th 2016 No. P.63 Baku Mutu Air Limbah Domestik.Pdf)
- Pranoto, K., Pahilda, W. R., Abfertiawan, M. S., Elistyandari, A., & Sutikno, A. (2020). Teknologi Lumpur Aktif Dalam Pengolahan Air Limbah Pemukiman Karyawan Dan Perkantoran Pt Kaltim Prima Coal. *Prosiding Temu Profesi Tahunan Perhapi*, 1(1), 697-704. [Https://Doi.Org/10.36986/Ptptp.V1i1.111](https://Doi.Org/10.36986/Ptptp.V1i1.111)
- Rajasulochana, P., & Preethy, V. (2016). Comparison On Efficiency Of Various Techniques In Treatment Of Waste And Sewage Water – A Comprehensive Review. *Resource-Efficient Technologies*, 2(4), 175-184. [Https://Doi.Org/10.1016/J.Reffit.2016.09.004](https://Doi.Org/10.1016/J.Reffit.2016.09.004)
- Rosso, D., Lothman, S. E., Jeung, M. K., Pitt, P., Gellner, W. J., Stone, A. L., & Howard, D. (2011). Oxygen Transfer And Uptake, Nutrient Removal, And Energy Footprint Of Parallel Full-Scale Ifas And Activated Sludge Processes. *Water Research*, 45(18), 5987-5996. [Https://Doi.Org/10.1016/J.Watres.2011.08.060](https://Doi.Org/10.1016/J.Watres.2011.08.060)
- Said, N. I., & Firly, F. (2018). Uji Performance *Biofilter* Anaerobik Unggun Tetap Menggunakan Media *Biofilter* Sarang Tawon Untuk Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Ayam. *Jurnal Air Indonesia*, 1(3), 289-303. [Https://Doi.Org/10.29122/Jai.V1i3.2357](https://Doi.Org/10.29122/Jai.V1i3.2357)
- Said, N. I., & Utomo, K. (2011). Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Proses Lumpur Aktif. 3(2), 160-174.
- Sri Martini, Erna Yuliwati, D. K. (2020). Pembuatan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri. 5(2), 26-33.
- Suprihatin, L. E. ( 2020). Kombinasi Proses Aerasi „
- Sze, Y. S., Aris, A., Zaidi, N. S., & Bahrodin, M. B. (2021). Performance Of Sand Filtration Sistem With Different Sand Bed Depth For Polishing Wastewater Treatment. 9(2), 452-457.
- Thomas E. Wilson, P.E., Dee, P. (2005). Clarifier Design. In *Aging (Vol. 7, Issue 11)*. [Https://Doi.Org/10.13140/2.1.1230.8805](https://Doi.Org/10.13140/2.1.1230.8805)
- Wang, C., Liu, Y., Lv, W., Xia, S., Han, J., Wang, Z., Yu, X., & Cai, L. (2019). Enhancement Of Nitrogen Removal By Supplementing

Fluidized-Carriers Into The Aerobic Tank In A Full-Scale A<sub>2</sub>/O Sistem. *Science Of The Total Environment*, 660, 817–825. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.046> Waqas, S., Bilal, M. R., Man, Z., Wibisono, Y., Jaafar, J., Indra Mahlia, T. M., Khan, A. L., Aslam, M., (2020). Recent Progress In Integrated Fixed-Film Activated Sludge Process For Wastewater Treatment: A Review. *Journal Of Environmental Management*, 268(May), 110718. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110718>

Wegelin, M. (1996). *Surface Water Treatment By Roughing Filters : A Design, Construction And Operation Manual* (P. 163). <https://www.irwash.org/resources/surface-water-treatment-roughing-filters-design-construction-and-operation-manual>