

EVALUASI KINERJA IPAL DOMESTIK METODE MBBR UNTUK MENGURANGI TINGKAT PENCEMARAN AIR DI WADUK "X", JAKARTA

PERFORMANCE EVALUATION OF DOMESTIC WWTP MBBR METHOD TO REDUCE WATER POLLUTION LEVEL IN RESERVOIR "X", JAKARTA

Devita Satya Lestari^{1)*} Ai Yeni Rohaeni¹⁾

¹⁾Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan, Ditbintek SDA
Jl. Ir. H. Juanda Nomor 193, Bandung, Indonesia

*Corresponden email: devianastasia.dd@gmail.com

Diterima: 16 Januari 2020; Direvisi: 11 Februari 2020; Disetujui: 7 September 2020

ABSTRACT

Activities of the population in Jakarta greatly influences types of waste produced, one of which is domestic wastewater from household activities. The purpose of this study was to determine the quality of the WWTP effluent and the efficiency of the domestic WWTP in Reservoir "X", Jakarta. The study uses quantitative methods by analyzing domestic wastewater treatment samples with parameters TSS, BOD, COD, fat oil, pH, total ammonia and total coli. The sampling was carried out 2 times a year. Then the results of the analysis are compared with the quality standards for domestic wastewater based on the Ministry of Environment and Forestry Regulation Number 68 of 2016 and the percent processing efficiency is calculated. Based on the results of the study, it was concluded that the domestic WWTP in the "X" Reservoir, Jakarta, could reduce the content of TSS, BOD, COD, total ammonia, oil and fat and pH so that they met the quality standards, except for total coli parameter. Then based on the results of the calculation of percent processing efficiency, it is concluded that the domestic WWTP in "X" Reservoir, Jakarta, is efficient enough to be very efficient in treating TSS, BOD, COD, total ammonia, oil and fat.

Keywords: Domestic waste, wastewater treatment plants, MBBR method, quality standards, processing efficiency

ABSTRAK

Aktivitas penduduk di Jakarta sangat berpengaruh terhadap jenis limbah yang dihasilkan, salah satunya berupa air limbah domestik yang berasal dari aktivitas rumah tangga. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas efluen IPAL dan efisiensi IPAL domestik di Waduk "X", Jakarta. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan analisis sampel air pengolahan limbah domestik dengan parameter TSS, BOD, COD, minyak lemak, pH, amonia total dan total koli. Adapun pengambilan sampel, dilakukan sebanyak 2 kali dalam satu tahun. Kemudian hasil analisis dibandingkan dengan baku mutu air limbah domestik berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 dan dilakukan perhitungan persen efisiensi pengolahan. Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa IPAL domestik di Waduk "X", Jakarta, dapat menurunkan kandungan TSS, BOD, COD, amonia total, minyak dan lemak serta pH sehingga memenuhi baku mutu, kecuali parameter total koli. Kemudian berdasarkan hasil perhitungan persen efisiensi pengolahan disimpulkan bahwa IPAL domestik di Waduk "X", Jakarta, telah cukup efisien hingga sangat efisien dalam mengolah limbah TSS, BOD, COD, amonia total, minyak dan lemak.

Kata kunci: Air limbah domestik, instalasi pengolahan air limbah, metode MBBR, baku mutu, efisiensi pengolahan

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang cepat, khususnya yang terjadi di Jakarta dapat mempengaruhi lingkungan di sekitarnya. Banyaknya aktivitas penduduk akan berpengaruh pula terhadap jenis limbah yang dihasilkan. Salah satunya adalah air limbah domestik yang berasal dari aktivitas rumah tangga. Definisi air limbah menurut para ahli adalah segala jenis air yang memiliki kualitas yang buruk, yang disebabkan karena adanya pengaruh antropogenik (aktivitas manusia).

Air limbah terdiri dari air limbah domestik, industri, pertanian yang di dalamnya mengandung berbagai potensi kontaminan (Gahalod dkk, 2017). Air limbah domestik merupakan air limbah yang berasal dari usaha dan/atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama (Permen LH No. 5 Tahun 2014). Air limbah domestik yang mengandung deterjen akan meningkatkan kadar fosfat yang memicu pertumbuhan ganggang air yang dapat menyebabkan eutrofikasi waduk (Simamora, 2015).

Saat ini, pencemaran akibat air limbah domestik di Jakarta telah menunjukkan tingkat yang cukup serius. Hal itu disebabkan karena masih minimnya fasilitas pengolahan air buangan kota (*sewerage system*) sehingga mengakibatkan tercemarnya badan – badan sungai (Said, 2006). Air limbah yang dibuang ke sungai pada akhirnya akan bermuara ke waduk dan jika dibiarkan, maka kualitas air waduk akan semakin memburuk. Padahal fungsi waduk itu sendiri adalah untuk memenuhi keperluan hidup manusia, antara lain untuk air baku air minum dan kebutuhan hidup sehari-hari.

Untuk mengatasi hal itu, pada tahun 2017, di Waduk “X” Jakarta telah dilakukan penerapan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik melalui proses biologi dengan teknologi MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) dengan kapasitas 7 Liter/detik. Tujuan dari penerapan IPAL tersebut adalah untuk memperbaiki kualitas air dan menurunkan beban pencemaran sebesar 937,48 kg/hari dari keseluruhan beban limbah penduduk yang masuk ke waduk “X” yaitu 7.536,1 kg/hari (Pusair, 2017).

Teknologi MBBR merupakan salah satu unit pengolahan biologis yang memanfaatkan *biofilm* atau mikroorganisme yang tumbuh pada media. Media-media tersebut memiliki luas permukaan yang besar untuk mengoptimalkan kontak antara air limbah, udara dan mikroorganisme (Said dan Santoso, 2015). Pengolahan air limbah secara biologi merupakan bagian penting dan tidak

terpisahkan dari setiap instalasi pengolahan air limbah, baik domestik maupun industri (Gahalod dkk, 2017). Pengolahan biologi merupakan pengolahan sekunder atau lanjutan dari pengolahan fisika untuk mengurangi zat tersuspensi oleh mikroorganisme, seperti alga atau bakteri pada kondisi aerobik maupun anaerobik (Samer, 2015). Pengolahan biologi efektif menurunkan kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) hingga 95%. Tangki yang luas sangat diperlukan untuk mengurangi BOD dengan kadar yang tidak layak. Selain itu, sistem pengolahan biologis tidak dapat menangani "beban kejut atau *shock loading*" secara efisien (Samer, 2015).

Penelitian ini sebagai tindak lanjut dari penerapan teknologi MBBR tahun 2017. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kualitas efluen IPAL dan seberapa besar efisiensi kinerja dari penerapan IPAL domestik di Waduk “X”, Jakarta, sehingga diharapkan dengan adanya IPAL ini, pengolahan air limbah domestik dapat memenuhi persyaratan berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016, tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan analisis sampel air pengolahan limbah domestik dengan parameter *Total Suspended Solid* (TSS) atau residu tersuspensi, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), minyak dan lemak, pH, amonia total dan total koli berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (LHK) No. 68 Tahun 2016. Pengujian sampel air dilakukan di lapangan dan di Laboratorium Balai Litbang Lingkungan Keairan, Puslitbang Sumber Daya Air, Bandung. Metode pengujian kualitas air yang digunakan, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Metode pengujian kualitas air

No	Parameter	Metode
1	pH	SNI 06-6989:11-2004
2	TSS (mg/L)	APHA-AWWA-WEF 2540-D-2012
3	BOD (mg/L)	APHA-AWWA-WEF 5210-B-2012
4	COD (mg/L)	SNI 6989.2:2009
5	Amonia Total (mg/L)	SNI 06-2479:1991
6	Minyak dan Lemak (mg/L)	APHA-AWWA-WEF 5520-B-2012
7	Total Koli	AOAC Official Method 991.14:2005

Pengambilan sampel air limbah dilakukan sebanyak 2 kali satu tahun (pada tahun 2018), mewakili musim kemarau (Agustus) dan musim penghujan (November). Pengambilan sampel pada 2 (dua) musim tersebut adalah untuk mengetahui apakah IPAL berfungsi dengan baik pada musim kemarau dan musim hujan, hal ini dikarenakan pada musim hujan hasil pengolahan biasanya terlihat lebih baik dikarenakan adanya pengenceran dari air hujan, sedangkan hasil sebaliknya biasanya terlihat pada musim kemarau.

Periode pengambilan sampel adalah pukul 05.30, 08.00, 13.00, 16.00, dan 20.00 WIB (Waktu Indonesia Barat). Pengambilan sampel air tersebut dimaksudkan untuk memberikan gambaran, bahwa pukul 05.30 dan 20.00 adalah gambaran aktivitas tertinggi manusia dalam pemakaian deterjen dan pembuangan tinja. Berikut adalah desain IPAL

domestik yang diterapkan di Waduk "X", Jakarta Gambar 1).

Rumus persen efisiensi kinerja IPAL mengacu pada rumus umum Metcalf and Eddy (1991) dalam Sari (2015) sebagai berikut:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

E = efisiensi pengolahan air limbah (%)

S_o = konstanta inlet (mg/L)

S = konstanta outlet (mg/L)

Penilaian tingkatan efisiensi kinerja IPAL menurut Suparmin (2002) dalam Haqq (2009) sebagai berikut :

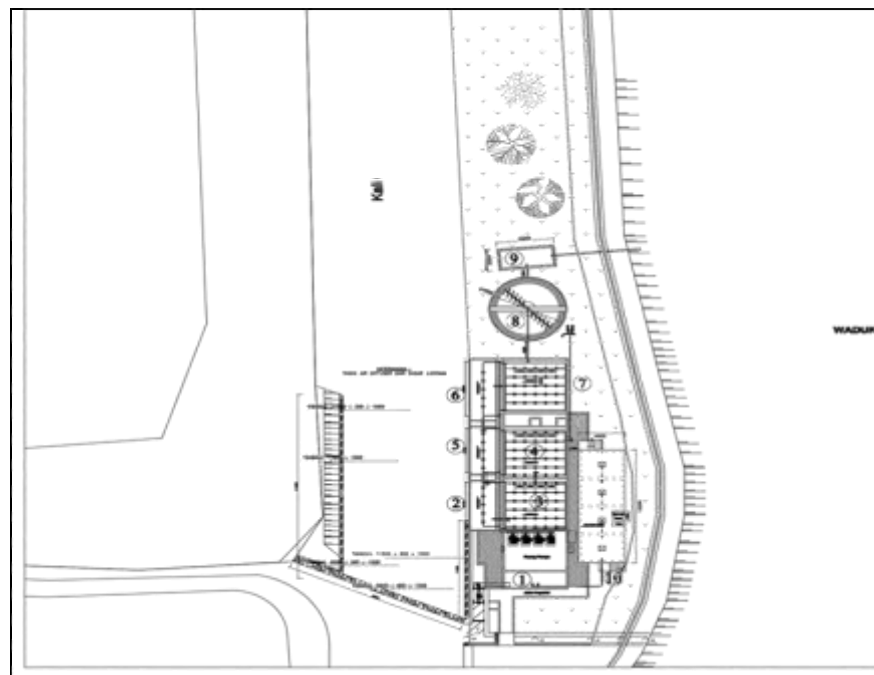
Sangat efisien = $x > 80\%$

Efisien = $60\% < x \leq 80\%$

Cukup efisien = $40\% < x \leq 60\%$

Kurang efisien = $20\% < x \leq 40\%$

Tidak efisien = $x \leq 20\%$



Sumber : Pusair, 2017

Keterangan :

- (1) Unit Ekualisasi/Anaerob 1 dengan dimensi 6,25m x 6,60m x 4,50 m;
- (2) Unit Anaerob 2 (2) (13,25x4,50x5,00) m;
- (3,4,5) Unit Aerasi 1-6 dengan dimensi 6,00m x 6,25m x 4,50m;
- (6,7,8) Unit Aerasi 1-6 dengan dimensi 6,00m x 6,25m x 4,50m;
- (9) Unit Clarifier (ø 7 m, kedalaman 4,50 m);
- (10) Unit Penampung Air/Transisi (5,00x3,00x3,80) m.

Gambar 1 Desain IPAL Domestik di Jakarta

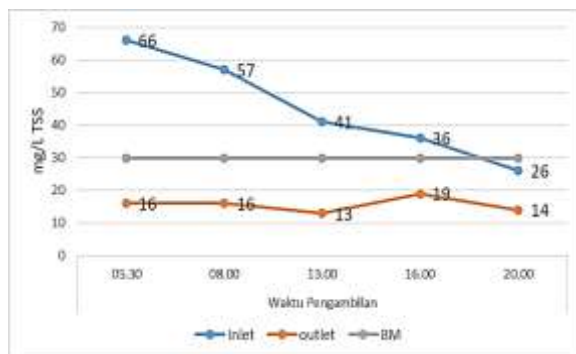
HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Residu Tersuspensi (TSS)

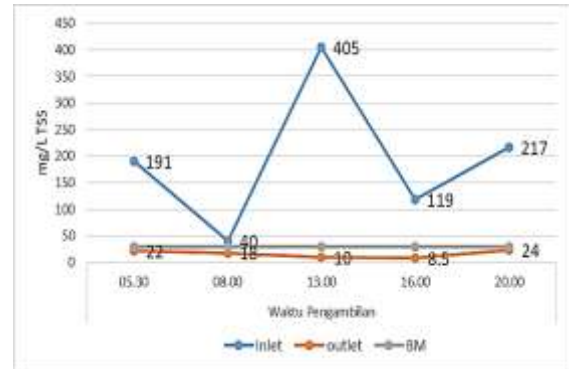
Parameter *Total Suspended Solid* (TSS) atau residu tersuspensi merupakan materi padat seperti pasir, lumpur tanah, logam berat yang tersuspensi akibat adanya pengikisan tanah atau erosi yang terbawa ke badan air (Fathiyah dkk., 2017). Oleh karena itu, parameter TSS memiliki kaitan erat dengan parameter kekeruhan (NTU). Adanya peningkatan TSS akan meningkatkan kekeruhan air, yang menghambat penetrasi cahaya matahari ke perairan (Winarsih dkk., 2016). Konsentrasi TSS yang tinggi dapat mempengaruhi kondisi fisik perairan, menyebabkan terganggunya proses fotosintesis dan respirasi dari biota air (Fathiyah dkk., 2017).

Parameter TSS merupakan salah satu parameter pencemaran perairan (Mustofa, 2017), maka kandungan TSS pada air, jika nantinya air tersebut dimanfaatkan sebagai sumber air bersih, sebaiknya bernilai 0 mg/L (Samudro dan Abadi, 2011).

Berdasarkan hasil analisis terhadap parameter TSS, ternyata dari 5 sampel outlet IPAL menunjukkan nilai yang telah memenuhi baku mutu air domestik, berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016, baik musim kemarau (Gambar 2) maupun musim hujan (Gambar 3).



Gambar 2 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter TSS musim kemarau



Gambar 3 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter TSS musim hujan

Jika dilihat dari efisiensi pengolahan terhadap parameter TSS, pada musim kemarau menunjukkan nilai berkisar antara 46,2 – 75,8% dan rata-rata sebesar 61,88% dengan tingkatan efisiensi antara cukup efisien hingga efisien (Tabel 2). Demikian pula pada musim penghujan nilai efisiensi mencapai 55,0 – 97,5% dan rata-rata sebesar 81,16% dengan tingkatan efisiensi antara cukup efisien hingga sangat efisien (Tabel 2). Kemudian bila dibandingkan dengan nilai efisiensi tahun 2017, pada musim kemarau (Juli) sebesar 96,7% dan 95,8% musim penghujan (April) (Pusair, 2017), maka terjadi penurunan sebesar 34,82% di musim kemarau dan 14,64% di musim penghujan (Tabel 3).

Penurunan efisiensi tersebut dapat disebabkan karena kurangnya perawatan IPAL berupa pengurasan. Apabila pengurasan jarang dilakukan maka endapan atau lumpur yang ada di dalam IPAL akan semakin meningkat, sehingga mempengaruhi kadar TSS (Pangentas, 2018). Upaya perbaikannya berupa penambahan saringan sederhana di saluran efluen agar menghasilkan kadar TSS yang rendah (Susanthi, dkk, 2018).

Tabel 2 Efisiensi pengolahan parameter residu tersuspensi (TSS) musim kemarau dan hujan

No	Waktu Pengambilan Contoh Air (WIB)	Musim Kemarau		Musim Hujan	
		% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL	% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL
1	05.30 WIB	75,8 %	Efisien	88,5 %	Sangat Efisien
2	08.00 WIB	71,9 %	Efisien	71,9 %	Efisien
3	13.00 WIB	68,3 %	Efisien	97,5 %	Sangat Efisien
4	16.00 WIB	47,2 %	Cukup Efisien	92,9 %	Sangat Efisien
5	20.00 WIB	46,2 %	Cukup Efisien	55 %	Cukup Efisien
Rata-rata		61,88 %	Efisien	81,16	Sangat Efisien

Tabel 3 Perbandingan nilai rata-rata persen efisiensi pengolahan IPAL tahun 2017 dan 2018

No.	Parameter	Musim Kemarau		Perbedaan	Musim Hujan		Perbedaan
		2017	2018		2017	2018	
1	TSS	96,7	61,88	- 34,82	95,8	81,16	- 14,64
2	Amonia Total	89,1	93,12	+ 4,02	96,8	89,26	- 7,54
3	BOD	84,9	67,48	- 17,42	79,6	78,9	- 0,7
4	COD	77,2	67,52	- 9,68	83,3	80,58	- 2,72

Keterangan :

+ = kenaikan

- = penurunan

Parameter Amonia Total (NH₃-N)

Parameter amonia yang terukur di perairan adalah berupa amonia total (NH₃⁺ dan NH₄⁺), amonia bebas tidak dapat terionisasi sedangkan ammonium (NH₄⁺) dapat terionisasi (Saka, 2019). Menurut Effendi (2003), kadar amonia dalam perairan alami biasanya kurang dari 0,1 mg NH₃/liter.

Konsentrasi amonia yang tinggi dalam badan air mengindikasikan adanya pencemaran bahan organik, salah satunya berasal dari air limbah domestik (Hibban dkk., 2016). Konsentrasi amonia erat kaitannya dengan kedalaman perairan, semakin dalam perairan, konsentrasi amonia akan semakin tinggi (Saka, 2019). Konsentrasi parameter amonia yang tinggi akan menyebabkan kematian ikan pada suatu perairan. Menurut Widayat dkk. (2010), dalam Hibban dkk. (2016), pada konsentrasi 1 mg NH₃/liter, beberapa jenis ikan akan mati lemas karena parameter amonia dapat mengurangi konsentrasi oksigen dalam air.

Toksitas amonia terhadap organisme akuatik akan meningkat seiring penurunan kadar oksigen terlarut (DO), pH dan suhu. Sumber amonia, selain berasal dari air limbah domestik, juga dihasilkan dari air limbah industri dan reduksi gas nitrogen yang berasal dari proses difusi udara atmosfer (Saka, 2019).

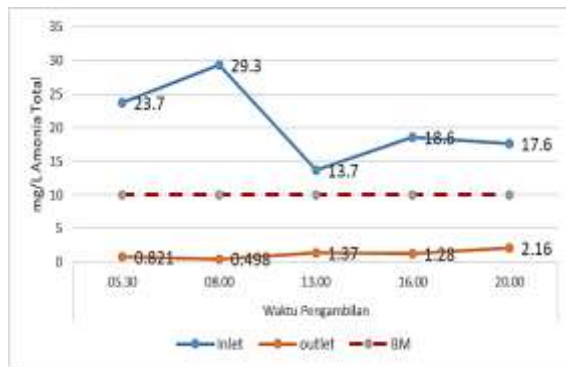
Berdasarkan hasil analisis terhadap parameter amonia total, ternyata dari 5 sampel pada outlet IPAL, menunjukkan nilai yang telah memenuhi baku mutu air domestik (Permen LHK No. 68 Tahun 2016), baik di musim kemarau (Gambar 4) maupun musim hujan (Gambar 5). Jika dilihat dari efisiensi pengolahan terhadap parameter amonia total, pada musim kemarau menunjukkan nilai efisiensi berkisar antara 87,7 - 98,3% dan rata-rata sebesar 93,12% dengan tingkatan efisiensi sangat efisien (Tabel 4).

Pada musim penghujan nilai efisiensi mencapai 63,0 - 98,2% dan rata-rata sebesar 89,26% dengan tingkatan efisiensi kategori efisien hingga sangat efisien (Tabel 4). Kemudian bila dibandingkan dengan nilai efisiensi tahun 2017 untuk parameter amonia total musim kemarau (Juli) sebesar 89,1% dan 96,8% musim penghujan (April)

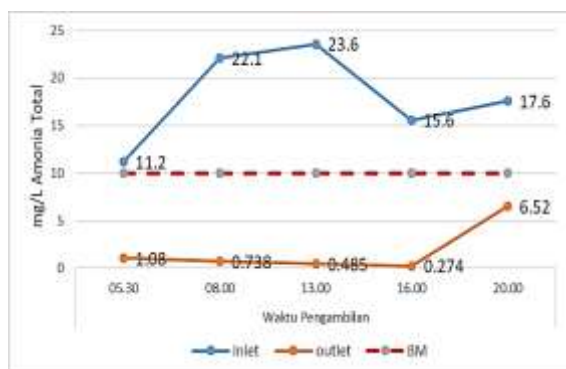
(Pusair, 2017), maka terdapat kenaikan persen efisiensi sebesar 4,02% (pada musim kemarau), sedangkan pada musim penghujan terjadi penurunan efisiensi sebesar 7,54% (Tabel 3).

Penurunan efisiensi dapat terkait dengan kurang optimalnya waktu tinggal air limbah, sehingga mikroorganisme pengurai belum tumbuh dan bekerja dengan baik atau optimal. Demikian juga, jika fungsi aerasi yang kurang baik, penyumbatan pada media biofilter, kurangnya oksigen juga dapat menyebabkan terjadinya suasana *anoxic* di dalam reaktor, sehingga mengakibatkan lapisan *biofilm* pada *bioball* menjadi berwarna putih dan menghasilkan bau yang menyengat. Selain itu, adanya kesalahan operasional akibat pengetahuan operator tentang proses tidak memadai, merupakan beberapa faktor penyebab yang sering ditemui dalam penyisihan parameter amonia total (Said dan Sya'bani, 2014).

Upaya perbaikannya adalah menerapkan waktu tinggal yang optimal untuk sistem pengolahan MBBR. Hasil penelitian sebelumnya menyatakan, semakin pendek waktu tinggal air limbah di dalam reaktor pengolahan, maka akan semakin rendah pula efisiensi pengolahan dalam menurunkan kadar amoniak (Said dan Utomo, 2007). Jika waktu kontakannya terlalu singkat antara air limbah dengan mikroorganisme, maka degradasi senyawa amoniak oleh mikroorganisme menurun dan kurang optimal. Penelitian lainnya membuktikan, hasil rata-rata penyisihan amoniak dalam kondisi stabil akan terjadi penurunan efisiensi jika perubahan waktu tinggal yang lebih cepat (Said dan Sya'bani, 2014). Adapun kenaikan persen efisiensi pengolahan dapat karena telah tumbuh dan optimalnya mikroorganisme pengurai, sehingga proses pengolahan telah mencapai kondisi yang stabil (Said dan Sya'bani, 2014).



Gambar 4 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter amonia total musim kemarau



Gambar 5 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter amonia total musim hujan

Parameter Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Parameter BOD merupakan parameter utama untuk mengetahui jumlah oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang terlarut dan tersuspensi dalam air buangan (Pamungkas, 2016). Secara umum parameter BOD adalah kebutuhan oksigen yang

diperlukan untuk menguraikan senyawa organik yang ada di dalam air (Maulani dan Widodo, 2016). Oleh karena itu, semakin tinggi nilai atau konsentrasi BOD, maka artinya kualitas perairan semakin memburuk. BOD juga dapat mencerminkan tingkat pencemaran badan air oleh buangan organik, semakin tinggi nilai BOD berarti semakin besar tingkat pencemaran (Pamungkas, 2016).

Konsentrasi BOD yang tinggi di perairan akan mengakibatkan tumbuhnya bakteri patogen beserta hasil metabolismenya, sehingga akan menimbulkan bau menyengat serta menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia maupun hewan yang ada di sekitar perairan tersebut. Kebanyakan penyakit yang akan timbul pada manusia adalah penyakit saluran pencernaan, seperti kolera, disentri dan tipus (Ranudi dan Ratnawilis, 2018).

Berdasarkan hasil analisis terhadap parameter BOD, ternyata dari 5 sampel outlet IPAL menunjukkan nilai yang telah memenuhi baku mutu air domestik (Permen LHK No. 68 Tahun 2016), baik musim kemarau (Gambar 6) maupun musim hujan (Gambar 7). Jika dilihat dari efisiensi pengolahan terhadap parameter BOD, pada musim kemarau menunjukkan nilai efisiensi berkisar antara 45,0 – 78,3% dan rata-rata sebesar 67,48% dengan tingkatan efisiensi sangat efisien (Tabel 5).

Demikian pula pada musim penghujan nilai efisiensi mencapai 60,0 – 90,9% dan rata-rata sebesar 78,9% dengan tingkatan efisiensi kategori efisien hingga sangat efisien (Tabel 5). Kemudian bila dibandingkan dengan nilai efisiensi tahun 2017 untuk parameter BOD musim kemarau (Juli) sebesar 84,9% dan 79,6% musim penghujan (April) (Pusair, 2017), maka terdapat penurunan persen efisiensi sebesar 17,42% (musim kemarau), sedangkan pada musim penghujan terjadi penurunan efisiensi sebesar 0,70% (Tabel 3).

Tabel 4 Persen efisiensi pengolahan parameter amonia total pada musim kemarau dan musim hujan

No	Waktu Pengambilan Contoh Air (WIB)	Musim Kemarau		Musim Hujan	
		% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL	% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL
1	05.30 WIB	96,5%	Efisien	90,4%	Sangat Efisien
2	08.00 WIB	98,3%	Efisien	96,7%	Sangat Efisien
3	13.00 WIB	90,0%	Efisien	98%	Sangat Efisien
4	16.00 WIB	93,1%	Cukup Efisien	98,2%	Sangat Efisien
5	20.00 WIB	87,7%	Cukup Efisien	63%	Efisien
Rata-rata		93,12 %	Sangat Efisien	89,26	Sangat Efisien

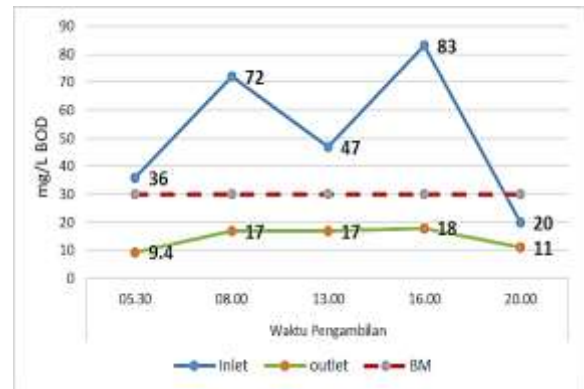
Penurunan persen efisiensi dapat disebabkan karena debit air limbah yang masuk ke dalam reaktor mengalami penurunan dan bahkan tidak mengalir. Hal ini dapat terjadi karena penyumbatan di dalam pipa, sehingga beban hidrolis di dalam reaktor berubah dan efisiensi penyisihan BOD mengalami penurunan (Said dan Santoso, 2015). Selain itu media yang digunakan pada reaktor MBBR dapat telah jenuh.

Adapun upaya perbaikannya adalah melakukan penggantian media yang telah jenuh dalam teknologi MBBR, untuk meningkatkan kinerja IPAL dalam mengolah parameter BOD. Media yang digunakan pada teknologi MBBR pada IPAL ini adalah media *kaldness*. Hal ini cukup beralasan, sejalan dengan berbagai hasil penelitian dan kajian dalam menurunkan konsentrasi parameter BOD dalam limbah cair domestik lebih efektif menggunakan media *kaldness* pada teknologi MBBR (Al Kholif dkk., 2018).

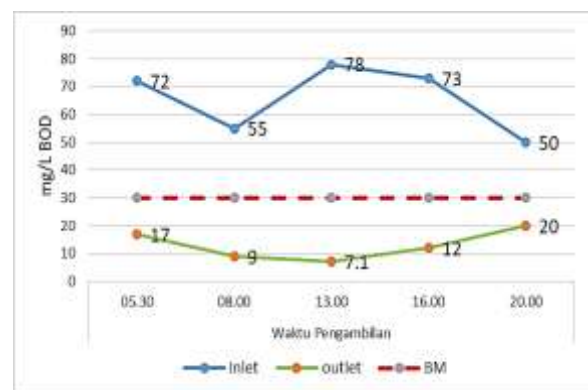
Parameter Chemical Oxygen Demand (COD)

Secara umum, parameter COD adalah kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroba untuk menghancurkan bahan organik (Maulani dan Widodo, 2016). Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi COD, maka dapat diartikan kualitas perairan tersebut semakin memburuk, karena oksigen yang dibutuhkan oleh mikroba akan semakin besar untuk menguraikan bahan organik, sehingga oksigen terlarut (DO) menjadi turun, karena oksigen banyak diambil oleh mikroba. Beberapa dampak yang dapat ditimbulkan jika kadar COD melebihi nilai mutu air dan baku mutu air limbah, di antaranya adalah dapat membahayakan kesehatan, menimbulkan kerusakan pada bangunan/tanah, menimbulkan bau tidak sedap, merusak pemandangan (Islamawati dkk., 2018).

COD dan BOD identik sebagai parameter pencemaran air (Atima, 2015).



Gambar 6 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter BOD musim kemarau



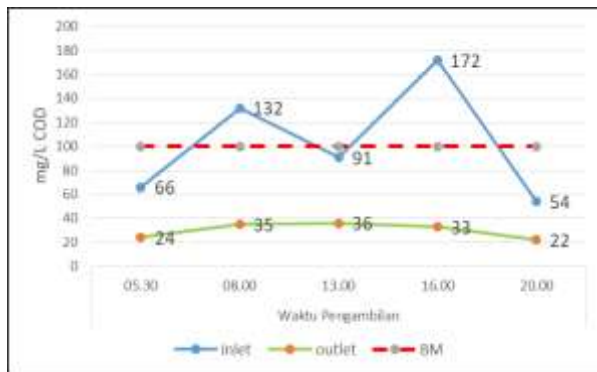
Gambar 7 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter BOD musim hujan

Tabel 5 Persen efisiensi pengolahan parameter BOD pada musim kemarau dan musim hujan

No	Waktu Pengambilan Contoh Air (WIB)	Musim Kemarau		Musim Hujan	
		% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL	% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL
1	05.30 WIB	73,9%	Efisien	76,4%	Efisien
2	08.00 WIB	76,4%	Efisien	83,6%	Sangat Efisien
3	13.00 WIB	63,8%	Efisien	90,9%	Sangat Efisien
4	16.00 WIB	78,3%	Efisien	83,6%	Sangat Efisien
5	20.00 WIB	45,0%	Cukup Efisien	60%	Cukup Efisien
Rata-rata		67,48 %	Efisien	79,6 %	Efisien

Berdasarkan hasil analisis terhadap parameter BOD, ternyata dari 5 sampel outlet IPAL menunjukkan nilai yang telah memenuhi baku mutu air domestik (Permen LHK No. 68 Tahun 2016), baik musim kemarau (Gambar 8) maupun musim hujan (Gambar 9). Jika dilihat dari efisiensi pengolahan terhadap parameter COD, ternyata kinerja IPAL pada musim kemarau menunjukkan nilai efisiensi berkisar antara 59,3 – 80,8% dan rata-rata sebesar 67,52% dengan tingkatan efisiensi sangat efisien (Tabel 6).

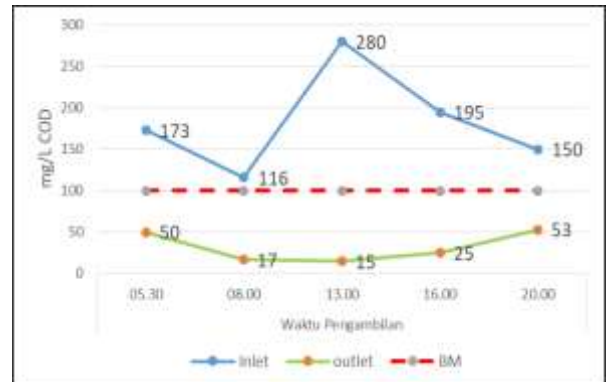
Demikian pula pada musim penghujan nilai efisiensi mencapai 64,7 – 94,6% dan rata-rata sebesar 80,58% dengan tingkatan efisiensi kategori efisien hingga sangat efisien (Tabel 6). Kemudian bila dibandingkan dengan nilai efisiensi tahun 2017 untuk parameter COD musim kemarau (Juli) sebesar 77,2% dan 83,3% musim penghujan (April) (Pusair, 2017), maka terdapat penurunan sebesar 9,68% (musim kemarau), dan musim penghujan sebesar 2,72% (Tabel 3).



Gambar 8 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter COD musim kemarau

Penurunan persen efisiensi dapat disebabkan karena adanya penurunan Waktu Tinggal Hidrolik

(WTH). Penurunan ini terjadi karena kontak air limbah dengan mikroorganisme yang terjadi di dalam reaktor menjadi lebih singkat, sehingga proses degradasi COD menjadi lebih kecil (Said dan Santoso, 2015). Penurunan efisiensi juga disebabkan karena perubahan Waktu Tinggal Hidrolik (WTH), karena perubahan debit aliran dari pengoperasian sebelumnya, akibatnya beban hidrolik lebih besar.



Gambar 9 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter COD musim hujan

Beban hidrolik yang lebih besar, menyebabkan mikroorganisme yang berada di dalam reaktor mengalami proses pengadaptasian kembali. Oleh karena itu, pada hari pertama dan kedua setelah pergantian waktu tinggal, efisiensi penyisihannya akan mengalami penurunan. Efisiensi penyisihan kembali menjadi stabil antara 2-3 hari setelah pergantian Waktu Tinggal Hidrolik (WTH) (Said dan Santoso, 2015). Selain itu, penurunan persen efisiensi dapat juga karena media telah jenuh. Penggantian media dapat dilakukan dalam teknologi MBBR, untuk meningkatkan kinerja IPAL dalam mengolah parameter COD. Media yang digunakan dalam teknologi MBBR lebih efektif menggunakan media *kaldness* dan batu apung (Al Kholif, dkk, 2018).

Tabel 6 Persen efisiensi parameter COD pada musim kemarau dan musim hujan

No	Waktu Pengambilan Contoh Air (WIB)	Musim Kemarau		Musim Hujan	
		% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL	% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL
1	05.30 WIB	63,6%	Efisien	71,1%	Efisien
2	08.00 WIB	73,5%	Efisien	85,3%	Sangat Efisien
3	13.00 WIB	60,4%	Efisien	94,6%	Sangat Efisien
4	16.00 WIB	80,8%	Sangat Efisien	87,2%	Sangat Efisien
5	20.00 WIB	59,3%	Cukup Efisien	64,7%	Efisien
Rata-rata		77,20 %	Efisien	83,30 %	Sangat Efisien

Parameter Minyak dan Lemak

Parameter minyak dan lemak merupakan salah satu variabel pencemaran air pada limbah cair, selain parameter COD, BOD dan TSS. Hal ini didasarkan pada ketetapan Pusat Sarana Pengendalian Dampak Lingkungan Kementerian LH (Maulani dan Widodo, 2016). Sifat minyak dan lemak yang mengapung di air dan membentuk lapisan yang sangat tipis di air mengakibatkan terbatasnya oksigen masuk ke dalam air (Maulani dan Widodo, 2016). Apabila konsentrasi atau kadar minyak dan lemak tidak memenuhi baku mutu, lapisan minyak pada permukaan air akan menghalangi difusi oksigen dari udara ke dalam air dan akan mengganggu kehidupan hewan air. Selain itu sinar matahari yang masuk akan terhalangi oleh lapisan minyak, sehingga fotosintesis oleh tanaman air tidak dapat berlangsung (Wardhana, 1995 dalam Ranudi, Ratnawilis, 2018). Kandungan minyak dan lemak yang tinggi akan merusak ekosistem lingkungan sekitarnya dan dapat menurunkan kualitas air (Ahmad dkk., 2011).

Berdasarkan hasil analisis terhadap parameter minyak dan lemak, ternyata dari 5 sampel outlet IPAL menunjukkan nilai < 0,1 mg/L dan memenuhi baku mutu (Permen LHK No. 68 Tahun 2016). Kemudian nilai persen efisiensi total pengolahan terhadap parameter minyak dan lemak, baik musim kemarau (Agustus) dan musim hujan (November) menunjukkan nilai 99,99% dengan tingkatan sangat efisien (Tabel 7).

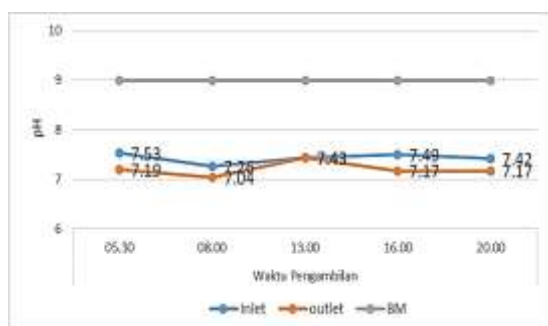
Parameter pH

Parameter pH suatu perairan sangat berpengaruh terhadap mikroorganismenya, pH terlalu tinggi atau terlalu rendah tidak baik untuk organisme perairan (Antoro dan Purnama, 2014). Oleh karena itu, nilai parameter pH memiliki nilai batas antara 6-9 untuk hasil pengolahan air limbah domestik (Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016). Berdasarkan hasil analisis pada musim kemarau berkisar antara 7,04 – 7,40 (Gambar 10) dan musim hujan antara 7,20 – 7,56 (Gambar 11).

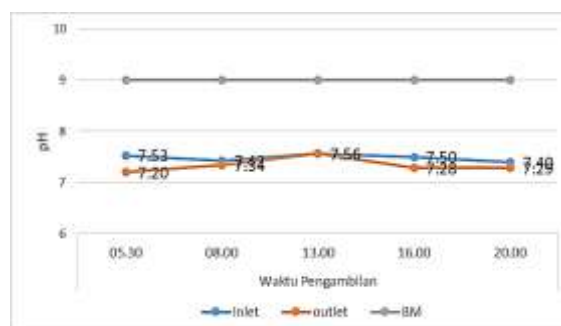
Nilai pH pada inlet/influen akan mempengaruhi jenis mikroorganisme yang hidup di dalam reaktor. Mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media dan tersuspensi dalam air limbah serta selanjutnya akan mengurai polutan pencemar (Said dan Santoso, 2015). Ditinjau dari karakteristik parameter pH, mikroorganisme dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yakni mikroorganisme asidofil (hidup pada pH 6-8 dan pH 2-5), mikroorganisme mesofil (hidup pada pH 5,5-8) dan mikroorganisme alkafil (hidup pada pH 8,4-9,5 (Brooks, 1994 dalam Said dan Santoso, 2015). Dari hasil analisis nilai pH pada inlet/influen, mengindikasikan mikroorganisme yang hidup di dalam reaktor IPAL adalah kelompok mikroorganisme asidofil.

Tabel 7 Persen efisiensi parameter minyak dan lemak musim kemarau dan hujan

No	Waktu Pengambilan Contoh Air (WIB)	Musim Kemarau		Musim Hujan	
		% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL	% Efisiensi	Tingkat Efisiensi IPAL
1	05.30 WIB	99,99%	Sangat Efisien	99,99%	Sangat Efisien
2	08.00 WIB	99,99%	Sangat Efisien	99,99%	Sangat Efisien
3	13.00 WIB	99,99%	Sangat Efisien	99,99%	Sangat Efisien
4	16.00 WIB	99,99%	Sangat Efisien	99,99%	Sangat Efisien
5	20.00 WIB	99,99%	Sangat Efisien	99,99%	Sangat Efisien
Rata-rata		99,99 %	Sangat Efisien	99,99%	Sangat Efisien



Gambar 10 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter pH musim kemarau



Gambar 11 Hasil analisis kualitas air inlet dan outlet IPAL untuk parameter pH musim hujan

Parameter Total Koli

Air yang mengandung bakteri koli dapat membahayakan bagi kesehatan lingkungan (termasuk hewan air dan manusia yang memanfaatkannya), dikarenakan adanya mikroorganisme patogen (Hardanik, 2013). Oleh karena itu, kandungan total koli pada air yang dimanfaatkan sebagai sumber air bersih, sebaiknya tidak ada.

Dampak yang terjadi apabila suatu perairan telah terkontaminasi dengan bakteri total koli dan dikonsumsi oleh manusia adalah timbulnya penyakit diare, tipes, disentri, dan hepatitis (Ranudi dan Ratnawilis, 2018). Semakin tinggi kandungan koli di suatu perairan, maka akan semakin tinggi pula kehadiran bakteri pathogen lain. Oleh karena itu, semakin sedikit kandungan total koli, artinya kualitas air semakin baik (Widyaningsih dkk., 2016). Sumber terbesar penyumbang bakteri pathogen di perairan, yakni yang berasal dari air limbah domestik (Widyaningsih dkk., 2016).

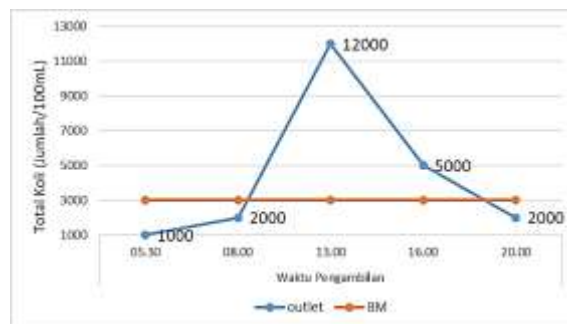
Berdasarkan hasil analisis kualitas air inlet IPAL pada musim hujan di 5 waktu pengamatan, ternyata nilai parameter total kolinya menunjukkan angka di atas baku mutu sebesar 30.000.000 - 270.000.000 jumlah/100 mL. Namun demikian, setelah melalui proses IPAL, nilai parameter total kolinya mengalami penurunan, walaupun nilainya masih di atas baku mutu yang ditetapkan.

Pada musim kemarau, hasil analisis parameter total koli outlet IPAL menunjukkan angka tidak memenuhi baku mutu sebesar 5.000-12.000 jumlah/100 mL (pukul 13.00 WIB dan 16.00 WIB). Akan tetapi pada pukul 05.30 WIB, 08.00 WIB dan 20.00 WIB, angka total koli memenuhi baku mutu sebesar 1.000-2.000 jumlah/100 mL (Gambar 12).

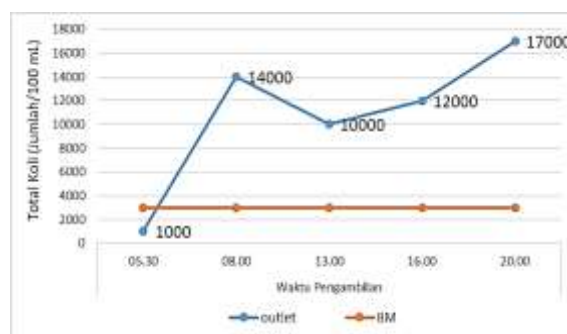
Kemudian pada musim hujan, angka total koliform di empat waktu pengamatan menunjukkan nilai di atas baku mutu sebesar 10.000 - 17.000 jumlah/100 mL, kecuali waktu pengamatan pukul 05.30 WIB (Gambar 13).

Mengingat belum memenuhinya nilai parameter total koli outlet IPAL terhadap baku mutu air limbah domestik, perlu diupayakan beberapa perbaikan.

Perbaikan yang dapat dilakukan di antaranya penyedotan lumpur tinja secara rutin, sehingga koli tinja tidak mengendap di dalam bak outlet dan meningkatkan durasi pemeliharaan jaringan perpipaan dan bak kontrol, seperti membersihkan kotoran atau penyumbatan (Susanthi dkk., 2018).



Gambar 12 Hasil analisis kualitas air outlet IPAL untuk parameter total koli musim kemarau



Gambar 13 Hasil analisis kualitas air outlet IPAL untuk parameter total koli musim hujan

KESIMPULAN

Instalasi pengolahan air limbah domestik di Waduk "X", Jakarta, dapat mengolah parameter atau kandungan residu tersuspensi (TSS), BOD, COD, amonia total, minyak dan lemak serta nilainya memenuhi baku mutu limbah domestik berdasarkan Permen LHK Nomor 68 Tahun 2016, baik musim kemarau maupun di musim penghujan.

Tingkatan efisiensi kinerja IPAL tahun 2018 sama seperti tahun 2017, yaitu masih termasuk dalam kategori cukup efisien hingga sangat efisien dalam mengolah parameter residu tersuspensi (TSS), BOD, COD, amonia total, minyak dan lemak. Pada tahun 2018 nilai efisiensinya sedikit mengalami penurunan antara 0,70 - 14,64% di musim hujan dan 9,68 - 34,82% di musim kemarau dengan pengecualian untuk parameter amonia total mengalami kenaikan persen efisiensi sebesar 0,16%.

Penurunan persen efisiensi dapat disebabkan karena kurangnya perawatan IPAL berupa pengurusan, penggantian media MBBR yang telah jenuh, durasi pemeliharaan jaringan perpipaan dan bak kontrol seperti membersihkan kotoran atau penyumbatan pipa, dan kurang optimalnya waktu tinggal dalam sistem pengolahan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Ir. Iskandar A. Yusuf, MSc yang telah memberikan bimbingan serta arahan dalam penyusunan jurnal ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Ridwan Budi Raharjo, ST, MPSDA, sebagai ketua tim kegiatan IPAL domestik tahun 2017 dan staf laboratorium Balai Litbang Lingkungan Keairan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Yelmida dan I. P. Friska. (2011). Penyisihan Minyak Lemak yang Terkandung dalam Limbah Cair Industri Minyak Sawit dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*.
- Al Kholif, M., Sutrisno dan Joko., Dwi Prasetyo, I. (2018). Penurunan Beban Pencemar Pada Limbah Domestik Dengan Menggunakan Moving Bed Biofilter Reaktor (MBBR). *Jurnal Teknik Lingkungan* Volume 4 Nomor 1. *Islamic State University of Sunan Ampel*. Surabaya. DOI: <https://doi.org/10.29080/alard.v4i1.365>
- Antoro, Mega Dwi dan Purnama, Ig. L. Setyawan. (2014). Studi Perubahan Kualitas Air di Sungai Progo Bagian Hilir D.I. Yogyakarta tahun 2009-2013. *Jurnal Bumi Indonesia* Volume 3 Nomor 4. Universitas Gajah Mada.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. AOAC OM 991.14, Ch.17:32. *Coliform and Escherichia coli Count in Food, Dry Rehydratable Film (Petrifilm™ E.coli/Coliform Count Plate TM and Petrifilm™ Coliform Count Plate TM) Methods*. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemist Inc.
- APHA-AWWA-WEF. (2012). *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition, Part 5210-B, Biochemical Oxygen Demand*. Washington, DC: American Public Health Association.
- APHA-AWWA-WEF. (2012). *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition, Part 5520-B, Oil and Grease*. Washington, DC: American Public Health Association.
- APHA-AWWA-WEF. (2012). *Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition, Part 2540-D, Total Suspended Solids*. Washington, DC: American Public Health Association.
- Atima, W. A., (2015). BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah, *Jurnal Biologi Science and Education* Volume 4 Nomor 1.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). SNI 06-2479:1991, Air, Metode Pengujian Kadar Amonium Dengan Alat Spektrofotometer Secara Nessler. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 06-6989-11:2004, Air dan Air Limbah – Bagian 11: Cara Uji Derajat Keasaman (pH) Dengan Menggunakan Alat pH meter. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). SNI 6989-2:2009, Air dan air limbah – Bagian 2: Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand/COD*) Dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Fathiyah, Naili., Giok Pin dan T., Ratna Saraswati. (2017). Pola Spasial dan Temporal *Total Suspended Solid* (TSS) dengan Citra SPOT di Estuari Cimandiri, Jawa Barat. *Industrial Research Workshop and National Seminar*. Politeknik Negeri Bandung.
- Gahalod, A. K., F. I. Cahvan and M. Husain. (2017). Modified Multi-Media Filter For Domestic Waste Water Treatment, *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, www.ijcrt.org (accessed January, 14, 2020).
- Hardanik, A. T. (2013). *Perbandingan Kuantitas Bakteri Coliform pada Limbah Cair Sebelum dan Sesudah Pengolahan Limbah Menurut Sistem Dewats di RSI Yarsis Surakarta*. Naskah Publikasi. Fakultas Kedokteran. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hibban, Muhamad., Rezagama, Arya dan Purwono. (2016). Studi Penurunan Konsentrasi Amonia Dalam Limbah Cair Domestik Dengan Teknologi Biofilter Aerobmedia Tubular Plastik Pada Awal Pengolahan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Volume 5 Nomor 2, Universitas Diponegoro.
- Islamawati, D., Y. H. Darundiati dan N. A. Dewanti (2018). Studi Penurunan Kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) Menggunakan Ferri Klorida (FeCl₃) Pada Limbah Cair Tapioka di Desa Ngemplak Margoyoso Pati. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Volume 6 Nomor 6, Universitas Diponegoro.

- Maulani, Dian I dan Widodo, Edy. (2016). Analisis Pengaruh BOD, TSS dan Minyak Lemak Terhadap COD Dengan Pendekatan Regresi Linear Berganda PT. X di Tangerang. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Matematika*. Universitas Ahmad Dahlan.
- Mustofa, A. (2017). Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi dari Outlet Tambak Udang Intensif di Kabupaten Jepara, *Jurnal Disprotek* Volume 8 Nomor 1.
[DOI: https://doi.org/10.34001/jdpt.v8i1.484](https://doi.org/10.34001/jdpt.v8i1.484)
- Pamungkas, M. T dan O. Atur. (2016). Studi Pencemaran Limbah Cair Dengan Parameter BOD₅ dan pH di Pasar Ikan Tradisional dan Pasar Modern di Kota Semarang, *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Volume 4 Nomor 2.
- Pangentias, A. T. (2018). *Evaluasi Kinerja IPAL Komunal di Kecamatan Banguntapan dan Bantul, D.I. Yogyakarta Ditinjau dari Parameter Fisika dan Kimia*. Laporan Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- Puslitbang Sumber Daya Air (Pusair). 2017. *Revitalisasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Waduk "X"*, Laporan Akhir 2017.
- Ranudi, Ratnawilis Safisani E. (2018). Evaluasi Pengelolaan IPAL Komunal di Kabupaten Sleman. Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan. Universitas Islam Indonesia.
- Republik Indonesia. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.
- Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia.
- Sari, R. D. (2015). *Evaluasi Pengolahan Air Limbah Dengan Sistem Extended Aeration di Rumah Sakit "X" Semarang*. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Said, N. I. (2006). Pengelolaan Air Limbah Domestik Di DKI Jakarta. *Jurnal Air Indonesia Vol. 2 , No.2, 2006*.
- Said, N. I, dan Syabani, Muhammad R. (2014). Penghilangan Amoniak di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). JAI Volume 7 Nomor 1. BPPT.
[DOI: 10.29122/jai.v7i1.2399](https://doi.org/10.29122/jai.v7i1.2399)
- Said, N. I., dan Santoso, Teguh I. (2015). Penghilangan Polutan Organik dan Padatan Tersuspensi di Dalam Air Limbah Domestik Dengan Proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR). JAI Volume 8 Nomor 1. BPPT.
[DOI: 10.29122/jai.v8i1.2382](https://doi.org/10.29122/jai.v8i1.2382)
- Saka. (2019). Kadar Amonia dalam Perairan. News and Articles. Sumber Aneka Karya Abadi. [Http://www.saka.co.id/news-detail/kadar-amonia-dalam-perairan](http://www.saka.co.id/news-detail/kadar-amonia-dalam-perairan) (accessed September 22, 2019).
- Samer, M. (2015). Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes, DOI: 10.5772/61250, <https://cdn.intechopen.com/pdfs/49024.pdf> (accessed January, 13, 2020).
- Samudro, G., dan R.. A. Rulian E. (2011). Studi Penurunan Kekeruhan dan TSS dalam PAH Menggunakan Reaktor GRF, *Jurnal Presipitasi* Volume 8 Nomor 1.
[DOI: https://doi.org/10.14710/presipitasi.v8i1.14-20](https://doi.org/10.14710/presipitasi.v8i1.14-20)
- Simamora, S. J. E. (2015). *Pengaruh Limbah Domestik Terhadap Kualitas Perairan Danau Toba (Studi Kasus Desa Marbun Toruan, Desa Napitupulu Bagasan, dan Kelurahan Pangururan*. Tesis. Universitas Sumatera Utara.
- Susanthi, D., M. Y. J. Purwanto dan Suprihatin. (2018). Evaluasi Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan IPAL Komunal di Kota Bogor, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Volume 19 Nomor 2.
[DOI: 10.29122/jtl.v19i2.2834](https://doi.org/10.29122/jtl.v19i2.2834)
- Widyaningsih, Wiwid., Supriharyono dan Widyorini, Niniek. (2016). Analisis Total Bakteri Coliform di Perairan Muara Kali Wiso Jepara. *Diponegoro Journal of Maquares. Management of Aquatic Resources*. Universitas Diponegoro.
[DOI: https://doi.org/10.14710/marj.v5i3.14403](https://doi.org/10.14710/marj.v5i3.14403)
- Winarsih., Emiyarti dan La Ode Alirman A. (2016). Distribusi Total Suspended Solid Permukaan di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Sapa Laut/Jurnal Ilmu Kelautan* Volume 1 (2) 54-59.
- Yuwono, T. (2012). Evaluasi Kinerja Sistem Irigasi Waduk Cengklik. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, Volume 12 Nomor 16.