

Efisiensi Penyisihan Logam Fe Dengan Menggunakan Instalasi Pengolahan Lindi *Compact* (IPLC)

Septi Agriani¹, Rachmawati S Dj²

¹ Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITENAS, Bandung
Email: septiagriani@yahoo.com

ABSTRAK

Lindi berasal dari proses dekomposisi sampah yang mengandung materi tersuspensi, terlarut, dan terekstraksi, sehingga kandungan lindi sangat berbahaya. Pada penelitian ini akan diteliti logam Fe yang terdapat dalam lindi TPA Sarimukti serta parameter pendukung, seperti pH, suhu, DO, kekeruhan dan TSS. Pengolahan dilakukan dengan menggunakan reaktor Instalasi Pengolahan Lindi Compact (IPLC) secara semi kontinu dengan kombinasi antara anaerob dan aerob. Waktu detensi yang digunakan, yaitu 31,33 jam yang didapatkan dari tracer test. Proses seeding dan aklimatisasi dilakukan menggunakan bakteri fakultatif, dengan dua media lekat, yaitu kaldness dan bioball. Berdasarkan dari karakteristik awal didapatkan beberapa parameter yang tidak memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, yaitu BOD₅ sebesar 1.071,55-1.593,29 mg/l, COD sebesar 4.800-6.400 mg/l dan TSS sebesar 470-556 mg/l. Berdasarkan hasil penelitian, IPLC mampu menyisihkan Fe sebesar 53,87% dari konsentrasi awal.

Kata kunci: Air Lindi, Logam Berat, IPL Compact, Sarimukti

ABSTRACT

Leachate originates from waste decomposition process which contains suspended, dissolved, and extracted material, so that leachate content is considered as hazardous. In this research, leachate was obtained from municipal solid waste (TPA) Sarimukti. Parameters to be studied is heavy metals Fe which contained in the leachate from TPA Sarimukti. In addition several supporting parameters, such as pH, temperature, DO, turbidity and TSS are studied. The treatment was carried out using a pilot plant scale reactor of Leachate Compact Processing Plant (IPLC), operated semi-continuously using biological, physical and chemical processing systems as well as anaerobic-aerobic configurations. The detention time used were 31,33 hours which was obtained from the tracer test. The seeding and acclimatization process was carried out using facultative bacteria, with two sticky media, kaldness and bioball. Based on the results, IPLC was able to eliminate Fe by 53,87% from the initial concentration.

Keywords: Leachate, Heavy Metal, IPL Compact, Sarimukti

1. PENDAHULUAN

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sarimukti merupakan TPA yang menampung sampah dari tiga wilayah, yakni Kota Bandung, Kota Cimahi, dan Kabupaten Bandung Barat. Jenis sampah yang dibuang ke TPA Sarimukti merupakan campuran dari sampah rumah tangga, pasar, industri dan rumah sakit (Pratama, Y., dan Soleh, A, Z. 2010). Timbulan sampah di TPA akan terbasuh oleh air hujan dan menimbulkan lindi.

Lindi mengandung materi tersuspensi, terlarut, dan terekstraksi dari sampah, sehingga kandungan lindi tersebut sangat berbahaya (Tchobanoglous et al, 1993). Karakteristik lindi sangat tergantung dari komposisi sampah yang tertimbun di dalam *landfill* di TPA. Air lindi pada umumnya mengandung senyawa-senyawa organik (hidrokarbon, asam humat, fulfat, tanat dan galat) dan anorganik (natrium, kalium, kalsium, magnesium, klor, sulfat, fosfat, fenol, nitrogen dan senyawa logam berat) yang tinggi (Parsons, 2002). Menurut Damanhuri, E (2008), logam yang terdapat dalam lindi, yaitu logam terlarut, seperti senyawa sulfat dari Ca, Mg; senyawa bikarbonat dari Fe, Ca, Mg; senyawa oksida dari Sn, Zn, Cu. Logam berat pada lindi berasal dari limbah bahan, berbahaya dan beracun (B3), seperti kabel listrik, batu baterai, besi, cat pelapis anti karat, dsb.

Menurut Darmono (1995), adanya logam berat di perairan sangat berbahaya, baik secara langsung terhadap kehidupan biota perairan, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat yang sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit dihilangkan. Logam berat Fe, Mn, Zn dan Cu merupakan logam penting bagi organisme yang berfungsi untuk membantu proses fisiologis, terutama sebagai kofaktor enzim atau untuk pembentukan organ. Namun, apabila dalam konsentrasi yang berlebihan, dapat menimbulkan efek toksik, sehingga harus tetap diwaspadai, karena apabila diakumulasi dalam jumlah besar tetap dapat membahayakan.

Berkaitan dengan hal itu, salah satu aspek penting dalam upaya pengendalian lingkungan adalah mengurangi konsentrasi logam-logam berat yang ada dalam lindi. Menurut Effendi, H (2003), konsentrasi logam Fe, Mn, Zn dan Cu pada perairan alami, yaitu Fe sebesar 0,05-0,2 mg/liter; Mn sebesar 0,2 mg/liter; Zn sebesar <0,05 mg/liter dan Cu sebesar <0,002 mg/liter. Berdasarkan hal tersebut, penelitian penyisihan kandungan logam Fe pada lindi ini dilakukan. Penelitian ini, menggunakan Instalasi Pengolahan Lindi *Compact* (IPLC) yang merupakan pengembangan dari Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja *Compact* (IPLTC) yang didesain dengan skala *pilot plant*, dengan volume lebih kecil dari pengolahan yang ada di TPA Sarimukti, yaitu 1,063 m³. Reaktor ini dilengkapi dengan serangkaian unit pengolahan, yaitu *grit chamber*, *grease trap*, *primary clarifier*, *anaerobic biological filter*, *anoxic chamber*, *moving bed biological reactor (MBBR)* dan *secondary clarifier*. Penelitian ini memberikan unit tambahan berupa *activated sand filter*, yang berfungsi untuk mengurangi kandungan logam berat. Pada penelitian ini, pengukuran parameter pendukung, yaitu pH, suhu, DO, kekeruhan dan TSS; digunakan sebagai penunjang dalam menganalisis parameter utama, yaitu Fe. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan akan diketahui efisiensi dan efektifitas dari IPLC.

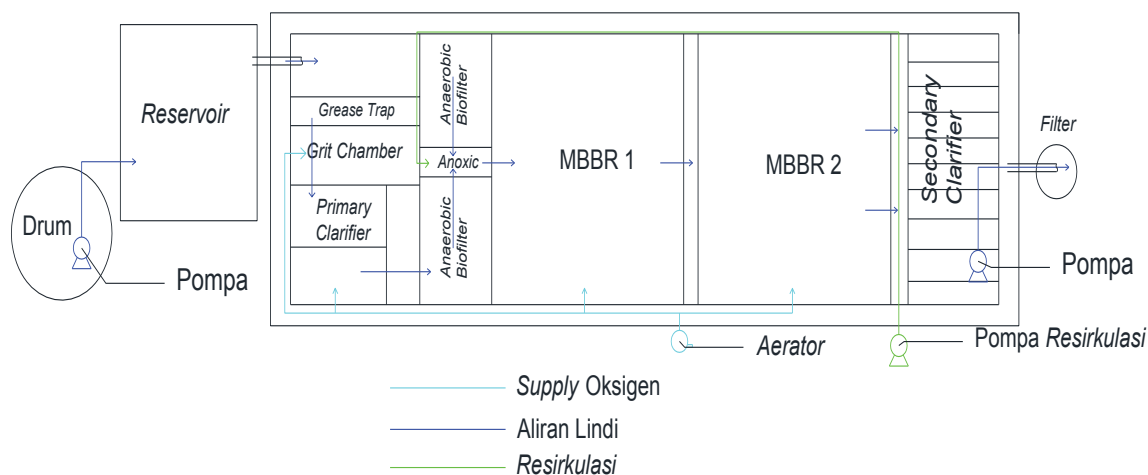
2. METODOLOGI

Tahapan pada penelitian ini adalah studi pustaka, persiapan penelitian, penelitian pendahuluan, pengukuran karakteristik awal, pengoperasian IPLC, analisis pembahasan dan kesimpulan.

Studi pustaka merupakan cara yang dilakukan untuk menghimpun informasi yang relevan dengan masalah yang sedang diteliti. Studi pustaka dapat diperoleh dari buku-buku ilmiah, laporan penelitian, karangan-karangan ilmiah, tesis dan disertasi, peraturan-peraturan, buku, ensiklopedia, dan sumber-sumber tertulis baik tercetak maupun elektronik. Studi pustaka merupakan hal penting untuk dapat menunjang penelitian. Untuk persiapan pada penelitian ini terdapat 3 tahapan, yaitu: persiapan alat dan bahan, seeding serta aklimatisasi.

- a. Persiapan alat dan bahan

Alat yang dipersiapkan dalam penelitian ini merupakan alat yang mendukung dalam proses penyisihan logam berat, yaitu aerator, pompa dan valve pengatur debit. Skema rangkaian proses penyisihan logam berat menggunakan IPLC dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Rangkaian Alat IPLC

Pada penelitian ini, aerator berfungsi sebagai alat yang menyuplai udara pada unit grit chamber, primary clarifier, MBBR 1 dan MBBR 2. Suplai udara ini diutamakan pada unit MBBR 1 dan 2. Hal ini dikarenakan pada unit tersebut terdapat mikroorganisme lekat yang dikondisikan secara aerob. Persiapan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini didasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Standard Methode Water and Wastewater (SMWW), seperti yang disajikan pada **Tabel 1**.

b. Seeding

Bakteri yang digunakan pada tahap seeding ini merupakan jenis bakteri fakultatif. Menurut Rifaldi (2015) dalam (Rochmah, Lela 2017), sebelum digunakan, mikroorganisme ini dilarutkan ke dalam 10 liter lindi dalam ember yang memiliki volume 60 liter dan didiamkan selama 24 jam. Pada proses seeding, diberikan penambahan substrat sebanyak 50 liter dan media kaldness sebanyak 13 liter atau setara dengan 2 kg.

Tabel 1. Metode Pengukuran yang Digunakan

Parameter	Prinsip Pengukuran	Metode Pengukuran
Logam (Fe, Mn, Zn dan Cu)	Atomic absorption spectrometer and associated equipment	SMWW 3111 C
pH	Electroda Potensiometri	SNI 06-6989.11-2004
Suhu	Idem	Idem
DO	Elektrometri	SNI 06-6989.14-2004
TSS	Gravimetri	SNI 06-6989.3-2004
Kekeruhan	Turbidimetri	SNI 06-6989.25-2005

Sumber: SMWW dan SNI

c. Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi adalah tahap pengkondisian mikroorganisme agar dapat hidup dan melakukan adaptasi. Pada tahap ini, diharapkan mikroorganisme tersebut dapat tumbuh dan berkembang biak dengan baik dengan pemberian nutrient berupa glukosa ($C_6H_{12}O_6$) kepada bakteri sampai kadar COD menjadi tunak (fluktuasi <10%) (Dworkin dkk., 2006). Parameter yang diamati adalah mixed liquor volatile suspended solids (MLVSS), sebagai parameter acuan yang menunjukkan konsentrasi mikroorganisme yang tumbuh; dan COD yang menunjukkan ketersediaan kandungan mikroorganisme. Pada tahap ini, penambahan media kaldness dan substrat dilakukan secara bertahap. Penambahan media kaldness dan substrat pada proses aklimatisasi dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Penambahan Media Kaldness pada Proses Aklimatisasi dan Substrat

Penambahan	Proses			Jumlah Kaldness (Liter)
	Aklimatisasi Tahap 1 (Liter)	Aklimatisasi Tahap 2 (Liter)	Aklimatisasi Tahap 3 (Liter)	
Kaldness				
MBBR 1	-	25	44	69
MBBR 2	-	25	37	62
Substrat	1/6	1/3	1/2	Jumlah Substrat (Liter)
MBBR 1	25	50	75	150
MBBR 2	25	50	75	150

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017; Rochmah, Lela 2017

2.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan yang dilakukan adalah tracer test, yang bertujuan untuk mengetahui waktu detensi aktual dan distribusi aliran dalam reaktor IPLC. Bahan baku yang digunakan, yaitu NaCl yang bersifat inert sebanyak 33,67 gr dengan konsentrasi 50 mg/l, sehingga dapat dilakukan pengukuran Daya Hantar Listrik (DHL) (Environmental Protection Agency, 2001 dalam Rochmah, Lela 2017). Metode pengukuran DHL dilakukan dengan metode konduktivimetri yang didasarkan pada SNI 06-6989.1-2004. Proses tracer test dapat tercapai jika konsentrasi NaCl yang dibubuhkan di inlet bak penampung IPLC sama dengan outlet, yaitu pada unit activated sand filter sebesar 50 mg/L (Rochmah, Lela 2017). Tracer test dilakukan dengan metode step dose dan pengambilan sampel secara grab sampling (Rochmah, Lela 2017). Dalam menentukan waktu detensi terdapat perhitungan-perhitungan yang dilakukan, yaitu Mean Residence Time (MRT), variansi dan koefisien variansi, Retention Time Distribution (RTD). Selain itu, untuk menentukan pola aliran dilakukan perhitungan, seperti: moriil dispersion index, volumetric efficiency (%) dan dispersion number.

2.2 Pengoperasian IPLC

IPLC dioperasikan dengan debit 0,01 liter/detik (Rochmah, Lela 2017). Debit inlet dan outlet diatur dengan debit yang sama agar tidak terjadi peluapan. Pengaturan debit ini dilakukan secara manual dengan menampung sebanyak 100 ml dalam waktu 10 detik. IPLC dioperasikan dengan waktu detensi yang diperoleh dari tracer test, yaitu selama 31,33 jam. Perhitungan efisiensi logam pada IPLC dilakukan dalam 2 kali running dengan menggunakan lindi dari TPA Sarimukti yang telah berusia > 10 tahun. Running dilakukan ketika proses seeding dan aklimatisasi selesai. Menurut Rochmah, Lela (2017), pengambilan sampel dilakukan bergantung pada waktu detensi dari setiap unit di IPLC. Waktu detensi tiap unit didapatkan dari perbandingan volume air dalam unit pengolahan dengan total volume air dalam reaktor IPLC yang dikalikan waktu detensi hasil dari tracer test. Hasil waktu detensi yang didapatkan dari tracer test dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Waktu Detensi Unit IPLC

No.	Unit pengolahan	Dimensi bagian dalam (m)			Volume teoritis (m ³)	Volume air di IPLC (m ³)	Volume air per unit (m ³)	Td IPLC dari tracer test (Jam)	Td per unit (Jam)
1	Grit chamber	0,355	0,345	0,800	0,098		0,097		2,860
2	Primary clarifier	0,290	0,335	0,800	0,078		0,077		2,270
3	Gutter 1	0,055	0,345	0,800	0,015		0,150		4,423
4	Anaerobic biofilter 1	0,200	0,335	0,800	0,054	1,063	0,053	31,33	1,563
5	Anaerobic biofilter 2	0,200	0,275	0,800	0,044		0,043		1,268
6	Anoxic chamber	0,200	0,065	0,800	0,010		0,010		0,295

No.	Unit pengolahan	Dimensi bagian dalam (m)			Volume teoritis (m ³)	Volume air di IPLC (m ³)	Volume air per unit (m ³)	Td IPLC dari tracer test (Jam)	Td per unit (Jam)
7	MBBR1	0,485	0,695	0,800	0,270		0,266	7,843	
8	Gutter 2	0,060	0,695	0,800	0,033		0,033	0,973	
9	MBBR 2	0,440	0,695	0,800	0,245		0,241	7,106	
10	Gutter 3	0,046	0,695	0,800	0,026		0,035	1,032	
11	Secondary clarifier	0,310	0,695	0,800	0,172		0,170	5,012	
12	Activated sand filter	0,152		1	0,018		0,000	0,750	
Total					1,063				

Sumber: Hasil Penelitian, 2017; Rochmah, 2017

Analisis yang akan dilakukan, yaitu analisis terhadap karakteristik sampel lindi TPA Sarimukti, efisiensi dan efektifitas penyisihan logam pada IPLC.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Lindi TPA Sarimukti

Sebelum melakukan proses pengolahan, maka perlu diketahui karakteristik sampel lindi TPA Sarimukti. Data yang diperoleh akan dibandingkan dengan dua baku mutu, yaitu untuk pH, TSS, COD dan BOD₅ dibandingkan dengan Permen LH No. 59 Tahun 2016; sedangkan untuk parameter Fe dibandingkan dengan baku mutu Permen LH No. 5 Tahun 2014. Hal ini dikarenakan, pada peraturan NSPM PU (Norma Standar Pedoman Manual, Pekerjaan Umum) tahun 2007 dan P.59 tahun 2016, tidak terdapat baku mutu untuk parameter logam berat Fe untuk lindi. Selain itu, penggunaan peraturan ini didasarkan atas penggunaan peraturan yang dipakai oleh pihak TPA Sarimukti sendiri. Perbandingan baku mutu yang digunakan adalah golongan II, karena memiliki karakteristik BOD sebesar 1.593,29 mg/l dan COD sebesar 6.400 mg/l (Rasyahid, Soca 2017). Hasil uji karakteristik dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perbandingan Baku Mutu dengan Karakteristik Awal Lindi TPA Sarimukti

Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu		Keterangan
			PerMen LH No. 59/2016*	Permen LH No. 5/ 2014**	
pH		8,3-8,65	6-9	-	Memenuhi
Suhu	°C	25,6-26,7	-	40	Memenuhi
Fe	mg/l	6,58-9,784	-	10	Memenuhi
TSS	mg/l	470-556	100	-	Tidak Memenuhi
COD	mg/l	4.800-6.400	300	-	Tidak Memenuhi
BOD ₅	mg/l	1.071,55-1.593,29	150	-	Tidak Memenuhi

Sumber: Perhitungan, (2017)

* Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah

** Tentang Air Limbah

Berdasarkan **Tabel 4**, parameter yang memenuhi baku mutu, yaitu pH, suhu, Zn, Cu, Fe dan Mn; sedangkan yang tidak memenuhi baku mutu, yaitu TSS, COD dan BOD₅. Konsentrasi TSS mencapai 470-556 mg/l tidak memenuhi baku mutu Permen LH No. 59 tahun 2016, yang ditetapkan sebesar 100 mg/l. Konsentrasi COD mencapai 4.800-6.400 mg/l, sehingga tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan, yaitu 300 mg/l. Untuk BOD₅ didapatkan konsentrasi mencapai 1.071,55-1.593,29 mg/l, oleh karena itu tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan, yaitu sebesar 150 mg/l. Karakteristik awal yang didapatkan pada **Tabel 4**, akan dibandingkan dengan pernyataan Renoui et al, pada **Tabel 5**, mengenai tipikal kualitas lindi pada variasi umur landfill.

Tabel 5. Klasifikasi Karakter Lindi Menurut Umur Landfill

Parameter	Muda Umur <5	Sedang Umur (5-10)	Tua Umur (>10)
pH	6,5	6,5-7,5	>7,5
COD (mgL ⁻¹)	>10.000	4.000-10.000	<4.000
BOD ₅ /COD	>0,3	0,1-0,3	<0,1
Logam Berat	Rendah-Sedang		Rendah
Biodegradable	Tinggi	Sedang	Rendah

Sumber: Renoui et al, 2007

Nilai pH pada TPA Sarimukti berkisar antara 8,3-8,65. Jika dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Permen LH No. 59 Tahun 2016, maka pH telah memenuhi baku mutu (**Tabel 4**). Kondisi pH tersebut sesuai dengan pernyataan Renoui et al, (2007), bahwa nilai pH lindi TPA yang berumur tua >10 tahun, yaitu lebih dari 7,5 (**Tabel 5**). pH merupakan salah satu parameter yang penting dalam kelarutan logam. Nilai pH yang tinggi menunjukkan bahwa lindi ini memiliki kondisi basa, sehingga kenaikan pH ini dapat menurunkan kelarutan logam dalam air (Effendi, 2003).

Nilai suhu pada TPA Sarimukti memiliki nilai sebesar 25,6-26,7°C. Suhu merupakan parameter yang dapat mempengaruhi kelarutan logam berat dalam perairan. Nilai suhu yang lebih rendah akan meningkatkan adsorpsi logam partikulat untuk mengendap, sedangkan saat suhu air naik, senyawa logam berat akan terlarutkan dalam air karena penurunan laju adsorpsi ke dalam partikulat (Pallar, H., 1994).

Pengukuran konsentrasi logam berat yang didapatkan untuk Fe sebesar 6,580-9,784 mg/l. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Renoui et al (2007) bahwa nilai logam berat lindi pada TPA yang berumur tua itu rendah (**Tabel 5**). Jika dilihat dari keempat konsentrasi karakteristik awal, logam Fe memiliki nilai yang mendekati batas baku mutu yang diperbolehkan, sehingga pembahasan penyisihan logam oleh IPLC pada jurnal ini hanya difokuskan pada logam Fe.

Nilai Total Suspended Solid (TSS) pada TPA Sarimukti berkisar antara 470-556 mg/l. Nilai TSS ini berkolerasi positif dengan kekeruhan. Jika dibandingkan dengan Permen LH No. 59 Tahun 2016, maka nilai TSS tersebut tidak memenuhi baku mutu (**Tabel 4**). Untuk nilai kekeruhan didapatkan sebesar 52,2-58,1 NTU. Menurut Davis dan Cornwell (1991) dalam Bariguna, Dipo (2008), kekeruhan menggambarkan adanya materi organik dan anorganik baik tersuspensi maupun terlarut dalam perairan.

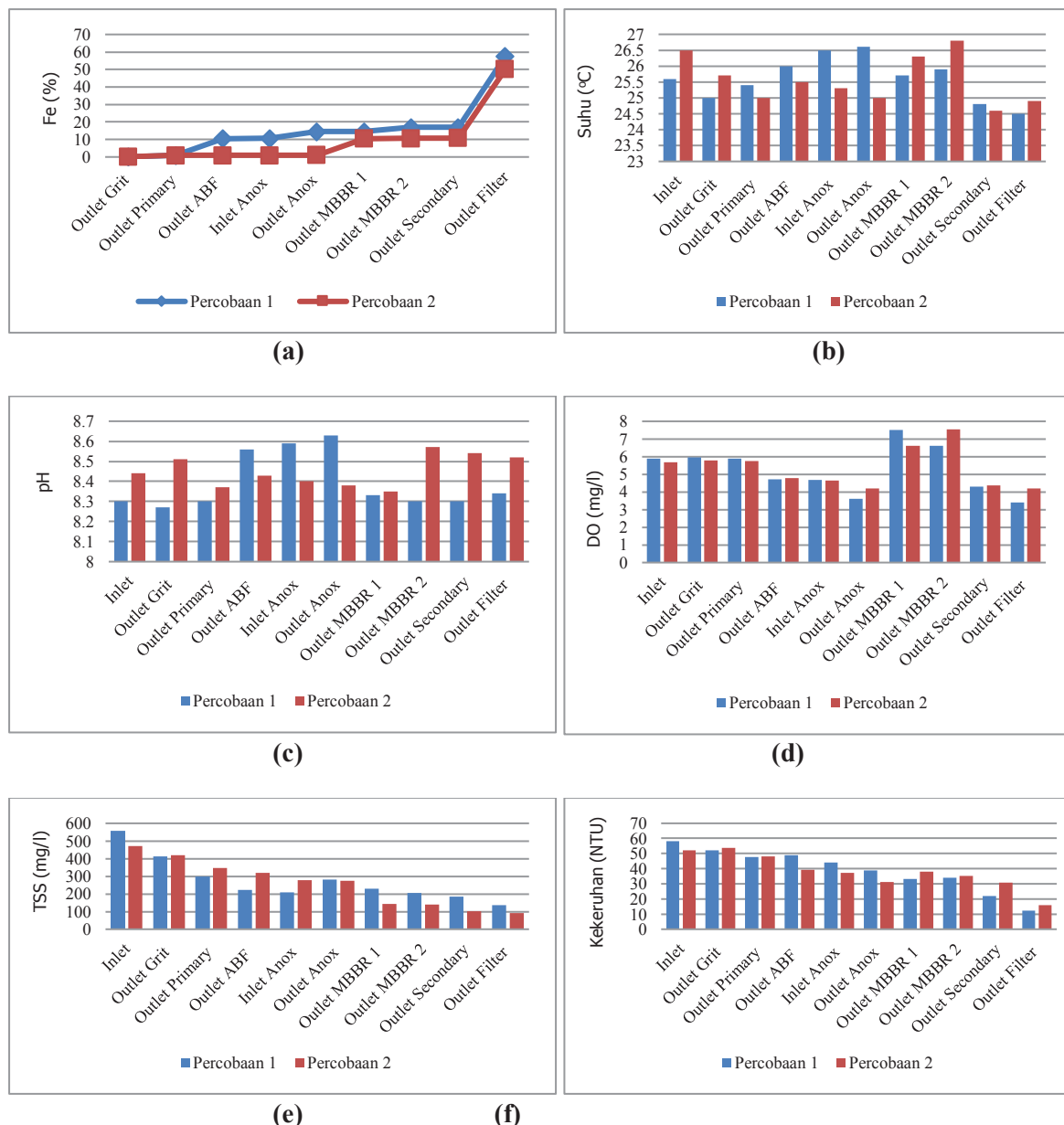
Konsentrasi Dissolved Oxygen (DO) pada TPA Sarimukti memiliki nilai berkisar antara 5,57-5,95 mg/l. Rendahnya kandungan DO pada air berpengaruh buruk terhadap kehidupan akuatik di dalamnya. Minimnya kandungan oksigen terlarut mengakibatkan munculnya kondisi anaerobik dengan bau busuk dan permasalahan estetika. Ketersediaan oksigen juga bergantung pada suhu, karena kelarutan oksigen meningkat dengan berkurangnya suhu (Kadlec, R.H., 2009).

Pengukuran konsentrasi COD bertujuan untuk melihat kandungan organik yang sukar untuk terdegradasi. Konsentrasi COD pada TPA Sarimukti ini berkisar antara 4.800-6.400 mg/l. Pada penelitian ini juga dilakukan pengukuran BOD yang bertujuan untuk mengetahui organik yang mudah terbiodegradasi. Konsentrasi BOD₅ pada TPA Sarimukti ini berkisar antara 1.071,55-1.593,29 mg/l. Rasio BOD₅/COD yang diperoleh adalah 0,25, dimana nilai tersebut jika dibandingkan dengan syarat untuk pengolahan secara biologi, yaitu > 0,5, maka pengolahan biologi yang dilakukan dapat menjadi kurang efektif. Jika dibandingkan dengan Permen LH No. 59 Tahun 2016, maka nilai BOD dan COD tidak memenuhi baku mutu (**Tabel 4**).

3.2 Efisiensi Penyisihan Logam Berat

a. Penyisihan Fe

Penelitian ini difokuskan untuk menyisihkan parameter Fe, karena konsentrasi pada karakteristik awal lindi di TPA Sarimukti telah mendekati baku mutu Permen LH No. 5 Tahun 2014, yaitu 9,784 mg/l. Keberadaan besi dalam air dapat berupa Fe^{2+} yang merupakan besi terlarut dalam air dan Fe^{3+} besi yang terendapkan atau teroksidasi akibat adanya proses aerasi. Pada umumnya oksigen dalam air akan digunakan untuk mengoksidasi besi yang terlarut dalam air menjadi bentuk besi yang dapat mengendap. Adapun prosesnya adalah besi dalam bentuk ferro dioksidasi terlebih dahulu menjadi bentuk ferri, lalu terjadi pengendapan dengan membentuk ferri hidroksida; reaksi ini mudah terjadi pada kondisi pH 7 (Fair & Geyer, J C. 1966).



Gambar 2. Grafik (a) Efisiensi Penyisihan Logam Fe Per unit, (b) Kondisi Suhu Saat Pengolahan, (c) Kondisi pH Saat Pengolahan, (d) Konsentrasi DO Pada Saat Pengolahan, (e) Konsentrasi TSS Pada Saat Pengolahan dan (f) Nilai Kekeruhan Pada Saat Pengolahan (Sumber : Hasil Perhitungan, 2017)

Pada percobaan pertama **Gambar 2. (a)**, didapatkan nilai efisiensi sebesar 57,62%. Nilai efisiensi penyisihan ini, dari inlet ke tiap unit mengalami kenaikan, terutama pada outlet filter. Jika dibandingkan dengan parameter suhu yang didapatkan, yaitu 24,5-26,6°C, kondisi suhu yang diperoleh ini dipengaruhi oleh waktu pengambilan tiap sampel. Pada unit outlet filter didapatkan suhu paling rendah dibandingkan dengan unit lain, yaitu 24,5°C atau berada di bawah suhu ruang, sehingga proses adsorpsi logam pada media pasir dapat mudah terjadi. Menurut Boyd, 1991 dalam Tchobanoglous et al (2004), suhu air yang lebih dingin akan meningkatkan adsorpsi logam partikulat untuk mengendap. Menurut Muchtadi D. (1989), suhu optimum untuk mikroorganisme yang hidup pada suhu 25-37°C adalah golongan *Mesophilic*.

pH yang didapatkan basa berkisar 8,27-8,63. Hal ini memberikan keuntungan karena menurut Boyd (1991) dalam Tchobanoglous et al (2004), kondisi ini akan menurunkan kelarutan logam dalam air; karena kenaikan pH mengubah kestabilan dari bentuk karbonat menjadi hidroksida, yang membentuk ikatan dengan pada badan air, sehingga akan membentuk lumpur. Pada percobaan pertama didapatkan nilai DO, yaitu berkisar 3,42-7,50 mg/l. Nilai terendah berada pada unit *outlet filter*, yaitu 3,42 mg/l, sedangkan tertinggi terjadi pada unit MBBR 1 dan 2, disusul oleh unit *grit chamber* dan *primary clarifier*. Pada unit MBBR 1 dan 2, konsentrasi DO yang tinggi yaitu, 7,50-6,63 mg/l diperuntukkan bagi pertumbuhan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik dan logam. Pada unit *grit chamber* dan *primary clarifier* didapatkan DO sebesar 5,97-5,89 mg/l. Hal ini didapatkan karena pada kedua unit diberikan suplai udara untuk mempermudah kecepatan pengendapan pasir, TSS dan memberikan dorongan agar terjadi aliran *down flow*. Berdasarkan **Gambar 2.e**, memperlihatkan konsentrasi TSS mengalami fluktuasi. Unit yang efisien dalam menurunkan TSS terjadi pada *outlet filter*. Pada percobaan pertama ini terjadi penurunan TSS dari unit *grit chamber* hingga *inlet anoxic*; lalu terjadi peningkatan pada *outlet anoxic*; namun terjadi penurunan kembali hingga *outlet filter*. Nilai TSS ini berbanding lurus dengan kekeruhan. Penurunan TSS ini mengindikasikan terjadi penurunan konsentrasi oleh proses pengendapan, baik zat organik ataupun logam-logam. Akan tetapi, nilai TSS yang didapatkan ini belum memenuhi baku mutu Permen LH No.59 tahun 2016.

Pada percobaan kedua (**Gambar 2.a**) didapatkan kenaikan efisiensi yang hampir sama dengan percobaan pertama; namun penyisihan meningkat dari mulai *outlet anoxic* ke *outlet filter*, dengan nilai efisiensi terbesar, yaitu pada *outlet filter* sebesar 50,13%. Suhu pada unit *outlet filter* diperoleh sebesar 24,9°C. Pada umumnya Fe dapat didegradasi oleh bakteri *Thiobacillus ferrooxidans*, namun bakteri tersebut hanya dapat hidup pada suhu 45-50°C dan berada dalam pH 1,5-2,5. DO didapatkan sebesar 4,2 mg/l untuk unit *outlet filter*. Pada IPLC ini terdapat unit yang dioperasikan secara anaerob, yaitu *anaerob biological filter* dan *anoxic*. Akan tetapi nilai DO yang didapatkan tidak sesuai dengan yang diharapkan karena menurut Gray N. F (2004), pada unit *anaerob* dan *anoxic* seharusnya memiliki konsentrasi DO ± 1 mg/l. TSS menurun secara signifikan. Konsentrasi TSS terendah didapatkan pada unit *outlet filter*, yaitu 92,5 mg/l. Jika dibandingkan dengan Permen LH 59 tahun 2016, maka nilai ini telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan, yaitu 100 mg/l untuk golongan II. Karena nilai TSS ini berbanding lurus dengan kekeruhan maka didapatkan nilai kekeruhan, pada outlet filter sebesar 15,71 NTU (**Gambar 2.f**).

Berdasarkan data yang didapatkan pada **Gambar 2. (a)**, dapat disimpulkan bahwa unit yang paling efisien, yaitu *outlet filter*, dengan nilai rata-rata sebesar 53,87%. Pada unit *filter*, konsentrasi Fe menurun, karena unit ini dirancang dengan menggunakan *activated sand* yang mengandung pasir silika dan KMnO₄. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (Novita, Dian 2005):



Pada unit filter ini terdapat kontak antara oksigen dan limbah dengan cara memberikan jarak jatuh lindi sebelum ke media pasir, yaitu setinggi 20 cm, sehingga diharapkan terjadi proses aerasi yang akan membantu proses oksidasi besi (Novita, Dian 2005). DO yang diperoleh pada saat proses filtrasi didapatkan sebesar 4,2 mg/l (**Gambar d**). Selain itu, dalam penelitian ini saringan *activated sand filter* dioperasikan dalam kondisi aliran tak jenuh (*unsaturated*), sehingga dalam pengoperasiannya, tidak

terdapat komponen supernatan atau genangan air di atas media pasir. Pada kondisi tak jenuh, hanya sebagian dari pori yang terisi air, sedangkan selebihnya berisi udara. Kondisi ini memberikan keuntungan berupa peningkatan daya kontak limbah dengan udara, saat air melewati pori-pori pasir. Pada proses aerasi inilah proses oksidasi terjadi. Menurut Rich, Linvil G (1963), pH yang baik untuk proses oksidasi adalah 7,8 atau netral dan banyak mengandung oksigen, sedangkan nilai pH yang didapatkan pada unit *outlet filter* ini sebesar 8,54, dapat dilihat pada **Gambar 2. (d)**. Hal ini dikarenakan umur TPA yang >10 tahun sehingga nilai pH lindi lebih dari 7,5 (Renoui et al, 2007) (**Tabel 4**). Penurunan kadar besi dalam air pada hakikatnya mengubah dari bentuk yang larut dalam air menjadi mengendap. Reaksi oksidasi Fe (II) dapat terjadi dalam fasa homogen dan heterogen sesuai dengan persamaan stoikiometri sebagai berikut (Novita, Dian 2005):



Menurut Rich, Linvil G (1963), nilai Ksp Fe(OH)₃ pada suhu kamar sebesar 4×10^{-38} . Semakin kecil nilai Ksp, akan semakin sukar larut dalam pelarutnya. Kelarutan logam Fe memiliki nilai paling rendah, jika dibandingkan dengan logam lainnya, seperti Cu, Zn dan Mn. Nilai Ksp Fe dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Nilai Kelarutan Logam Fe

Parameter	Ksp	pH Teori	pH pada Pengoperasian	Efisiensi Penyisihan (%)		Rata-rata (%)
				1	2	
Besi (Fe)	$\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow 4 \times 10^{-38}$	7,8-8,5	8,34;8,52	57,62	50,13	53,87

(Sumber: Hasil Perhitungan; Sugihhartati, dkk, 2013)

3.3 Perbandingan Dengan Baku Mutu

Berdasarkan data yang didapatkan, terjadi penurunan konsentrasi Fe dari karakteristik awal, yaitu 6,580-9,784 mg/l; dan setelah dilakukan pengolahan oleh IPLC didapatkan konsentrasi akhir Fe sebesar 2,789 mg/l pada percobaan pertama dan 4,879 mg/l pada percobaan kedua.

4. KESIMPULAN

Unit yang optimum dalam menyisihkan logam berat Fe adalah unit outlet filter. Kondisi pH yang didapatkan berkisar antara 8,34-8,52; nilai DO berkisar antara 3,42-4,2 mg/l. Berdasarkan hasil penelitian IPLC mampu menyisihkan Fe sebesar 53,87% dari konsentrasi awal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bariguna, Dipo. (2008). Studi Tingkat Kekeuruhan Air Menggunakan Citra Radar Airsar. IPB, Bogor
- [2] Damanhuri, E. (2008). Diktat Teknik Pengelolaan Sampah. Penerbit ITB, Bandung
- [3] Darmono. (1995). Logam Dalam Sistem Biologi Mahluk Hidup. UI Press, Jakarta
- [4] Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K-H., Stackebrandt, E. (2006). The prokaryotes third. Symbiotic Association, Biotechnology, Applied Microbiology. Vol1.
- [5] Effendi, H. (2003). Telaah Kualitas Air bagi Pengolahan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Penerbit Kanisius, Yogyakarta
- [6] Fair and Geyer, J C. (1966). Water and Wastewater Treatment, John Wiley and Sons Inc, New York.
- [7] Gray N. F. (2004). *Biology of wastewater treatment* (Vol. 4): World Scientific.
- [8] Kadlec, R. H. (2009). *Comparison of Free Water and Horizontal Subsurface Treatment Wetlands. Ecological Engineering*, Vol. 35, p: 159-174
- [9] Muchtadi D. (1989). Evaluasi Nilai Gizi Pangan. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi, Institut Pertanian Bogor, Bogor

- [10] Novita, Dian. (2005). Saringan Pasir Kering Aktif *Ununiform* sebagai Alternatif Penurunan Konsentrasi Besi dan Mangan dalam Air Tanah. Itenas, Bandung
- [11] Pallar, H., (1994). Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat. Rineka Cipta, Jakarta.
- [12] Parsons. (2002). *Impact of Landfill Closure Design on Long- Term Natural Attenuation of Chlorinated Hydrocarbons*, Environmental Security Technology Certification Program, Arlington
- [13] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor. 5 Tahun 2016 Tentang Baku Air Limbah
- [14] Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor. P.59/Menlhk/Setjen/ Kum.1/7/2016 Tentang Baku mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah
- [15] Pratama, Y., dan Soleh, A, Z. (2010). Identifikasi Faktor-Faktor Dominan yang Mempengaruhi Penilaian Masyarakat terhadap Keberlangsungan TPA Sarimukti di Kabupaten Bandung. Jurnal Ilmiah Unpad. Universitas Padjajaran, Bandung
- [16] Rasyahid, Soca. (2017). Efektifitas Instalasi Pengolahan Lindi (IPL) *Compact* Dalam Menyisihkan Organik Dan Padatan Tersuspensi Dengan Sistem Aliran Kontinu. Itenas, Bandung
- [17] Renoui, et., al. (2007). "Landfill Leachete Treatment : Review and Opportunity" *Journal of Hazardous Materials* 150 (2008) 468-493.
- [18] Rich, Linvil G. (1963). Unit Processes of Sanitary Engineering, John Wiley and Sons Inc, New York
- [19] Rochmah, Lela. (2017). Efektifitas Instalasi Pengolahan Lumpur Tinja (IPLT) *Compact* Dalam Menyisihkan Organik Dan Padatan Tersuspensi Dengan Sistem Aliran Kontinu. Itenas, Bandung
- [20] Standar Nasional Indonesia. (2004). Tata Cara Pengukuran DO Oleh Electrometri (Vol. SNI 06-6989.14-2004). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- [21] Standar Nasional Indonesia. (2004). Tata Cara Pengukuran Kekeruhan Oleh Turbidimetri (Vol. SNI 06-6989.25-2004). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- [22] Standar Nasional Indonesia. (2004). Tata Cara Pengukuran pH Oleh Electroda Potensiometri (Vol. SNI 06-6989.11-2004). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- [23] Standar Nasional Indonesia. (2004). Tata Cara Pengukuran TSS Secara Gravimetri (Vol. SNI 06-6989.3-2004). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta
- [24] Standard Methods for Examination Water and Wastewater.(1995). *American Public: Health*.
- [25] Sugihhartati Dj Rachmawati, Chedly Tizaoui, Nidal Hilal. (2013). *Removal of metals (copper, manganese, nickel and zinc) from waters by activated unsaturated sand filter (AUSF)*. Jurusan Teknik Lingkungan. Itenas, Bandung
- [26] Tchobanoglous, George and Theisen H, Vigil SA. (1993). *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, Inc., N.Y
- [27] Tchobanoglous G., et al. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*,; Metcalf & Eddy I AECOM: McGraw-Hill Book Company: New York, NY, USA.
- [28] Vogel. (1995). *Organic Chemistry*, American Book Company, New York
- [29] Vogel. (1986). *Buku Teks Analisis Secara Kualitatif Makro dan Semimikro*. PT. Kalman Media Pustaka, Jakarta