

PENGERINGAN LUMPUR IPAL BIOLOGIS PADA UNIT *SLUDGE DRYING BED* (SDB)

Marita Faizatul Ummah^{*1)} dan Welly Herumurti¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),
Kompleks Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

^{*)}E-mail: mfaizatulummah@gmail.com

Abstrak

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) merupakan bangunan pengolahan air limbah yang menghasilkan lumpur yang mengandung air, residu organik, dan logam anorganik yang dapat mencemari lingkungan. *Sludge Drying Bed* (SDB) merupakan bangunan pengolahan lumpur dengan sistem pengeringan. Prinsip pengolahan lumpur pada SDB yaitu mengurangi kadar air dan volume lumpur. Pengeringan lumpur mampu mengurangi volume lumpur dengan meningkatkan kadar *Total Solids* (TS). Proses pengeringan pada unit *sludge drying bed* ini dipengaruhi oleh ketebalan lumpur, ukuran media filter, dan waktu pengeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ketebalan lumpur 20 cm memiliki hasil efisiensi penyisihan paling tinggi yaitu 98,37% untuk TS dan 98,27% untuk penyisihan *Total Suspended Solid* (TSS). Ketebalan lumpur yang masuk akan mempengaruhi besarnya penyisihan filtrat yang dihasilkan.

Kata kunci: Ketebalan Lumpur, Ukuran Media, SDB.

Abstract

Wastewater treatment plant (WWTP) produce sludge that contain water, residual organics, and anorganic compounds that potentially pollute environment. Sludge Drying Bed (SDB) is a sludge treatment unit employing natural drying process. SDB treatment principal is to reduce as much as possible the water content in sludge, hence reduce sludge volume and and increase total solids (TS) content. The drying process in SDB unit is affected by sludge thickness, filter media size, and drying time. The results showed that when sludge thickness was 20 cm, the highest removal efficiency was 98,37% and 98,27% for TS and total suspended solids (TSS), respectively. The sludge thickness effects the removal efficiency of filtrate.

Key words: Filter media size, SDB, Sludge thicknes.

1. PENDAHULUAN

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) adalah instalasi pengolahan yang berfungsi mengolah air limbah domestik maupun industri agar tidak mencemari badan air.

IPAL ini menghasilkan lumpur yang mengandung air, residu organik, dan logam anorganik. Lumpur hasil IPAL dikelola pada unit *Sludge Drying Bed* (SDB) dengan sistem pengeringan. Proses pengeringan dan laju pengeringan dapat dipengaruhi oleh faktor

suhu, kelembaban relatif, kadar air lumpur, pembentukan kerak, kecepatan udara, dan adanya zat kimia (Danish *dkk.*, 2016). Proses pengeringan lumpur sendiri menghadapi masalah penyediaan tempat pengeringan, pemanfaatan lumpur aktif yang telah dikeringkan dan ketergantungan pada faktor sinar matahari (Sarah, 2005).

Prinsip pengolahan lumpur yaitu mengurangi kadar air dan volume lumpur yang salah satunya melalui pengeringan atau dewatering dengan unit pengolahan yang biasa disebut *Sludge Drying Bed* (SDB). Pengeringan mampu mengurangi volume lumpur dan meningkatkan kadar *Total Suspended Solid* (TSS) (Hu *dkk.*, 2017). Indonesia sebagai negara tropis dengan curah hujan yang tinggi mempunyai kondisi lingkungan lembab dan intensitas cahaya matahari yang berubah-ubah pada setiap musim, sehingga proses pengeringan lumpur pada unit SDB dapat terganggu atau tidak berjalan sempurna (Hutagalung, 2012).

Ukuran dan jenis media filter pada unit SDB yang bervariasi juga mempengaruhi proses pengeringan lumpur. Media pasir untuk tempat pembuangan limbah buangan sebaiknya memiliki diameter efektif antara 0,30 mm - 0,75 mm (Kuffour *dkk.*, 2009). Waktu pengeringan lumpur selama 15 hari, tebal lumpur (cake) di atas media filter 25-30 cm, tebal pasir 15-20 cm, dan tebal lapisan kerikil 25-30 cm (Cofie *dkk.*, 2006). Kadar air pada lumpur yang didapatkan setelah 10 hingga 15 hari pengeringan adalah 60 - 70%.

Selain pengaruh media, ketebalan lumpur juga mempengaruhi kecepatan pengeringan lumpur. Ukuran ketebalan lumpur di SDB memungkinkan untuk memperkirakan tingkat kenaikan tinggi lumpur, yang menentukan umur setiap siklus pengisian dan pengosongan. Tingkat ini merupakan faktor penting untuk mengevaluasi dan memperbaiki kinerja pengeringan unit SDB (Uggetti *dkk.*, 2012). Ketebalan lumpur yang biasanya diaplikasikan adalah 20 sampai 30 cm

(Strande *dkk.*, 2014). Dalam penelitian ini dilakukan analisis efisiensi penyisihan TS dan TSS, pengaruh perbedaan ketebalan lumpur yang masuk terhadap efisiensi penyisihan TS dan TSS serta waktu optimum dalam proses pengeringan lumpur pada unit *sludge drying bed*.

2. METODA

Analisis Karakteristik Awal

Pada penelitian pendahuluan dilakukan analisis karakteristik awal lumpur IPAL Biologis yang akan masuk pada unit SDB yaitu lumpur yang keluar dari unit *return activated sludge* (RAS) dan media filter berupa pasir Lumajang. Pada Tabel 1 dapat dilihat hasil analisis ukuran media dan laju filtrasi dari pasir yang digunakan.

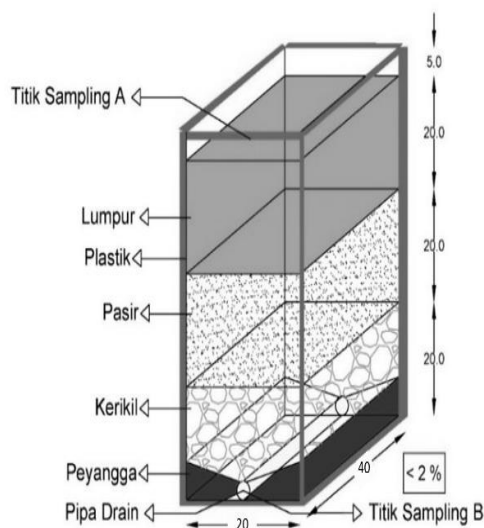
Tabel 1. Karakteristik Awal Lumpur dan Media Pasir

Parameter	Nilai	Satuan
Lumpur IPAL Biologis		
Kadar Air	97,95	%
TS	17.425	mg/L
TSS	5.750	mg/L
COD	23.500	mg/L
BOD	2510,8	mg/L
Amonium	58,4	mg/L
Total Coliform	40000	MPN/100mL
Media Filter		
Laju Filtrasi	0,169	m/jam
Laju Filtrasi diameter 0,15-0,85	0,085	m/jam
Sg	2,69	-
Kadar Air Pasir	0,42	%

Tahap Persiapan Reaktor

Pada penelitian ini menggunakan media filter pasir Lumajang ukuran 0,15-0,85 mm yang dimasukkan ke dalam reaktor dalam kondisi sudah dicuci, reaktor terbuat dari kayu yang dilapisi dengan plastik tebal dengan ukuran reaktor 20 cm x 40 cm x 100 cm. Reaktor

dilindungi oleh atap, sehingga tidak terpengaruh oleh hujan. Volume lumpur yang dimasukkan bervariasi yaitu 16 L, 24 L, dan 32 L sesuai ketebalan yang digunakan. Pada bagian dasar reaktor dimasukkan kerikil sebagai media penyangga pada lapisan bawah. Ketebalan media pasir yang digunakan 20 cm dan kerikil 20 cm. Filtrat dari hasil filtrasi dikeluarkan melalui pada pipa *underdraine* ukuran 2,5 cm (1 inchi) dengan kemiringan 2% dan dilengkapi dengan *orifice* ukuran 0,1 cm sebanyak 78 lubang. Pada Gambar 1 dapat dilihat skema susunan reaktor yang digunakan.



Gambar 1. Skema Susunan Reaktor

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan ukuran media filter 0,15-0,85 mm dengan variabel ketebalan lumpur dengan variasi 20 cm, 30 cm, dan 40 cm. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan selama 30 hari dengan dilakukan pengukuran sampel filtrat yang keluar melalui *underdrain* serta lumpur yang tertahan pada media filter. Pengambilan sampel filtrat untuk analisis TS dan TSS, sedangkan lumpur untuk analisis kadar air dan suhu lumpur. Filtrat yang keluar dari *underdraine* dianalisis setiap hari selama filtrat keluar (13 hari), sedangkan kadar air dan suhu lumpur diukur selama proses pengeringan berlangsung (30 hari).

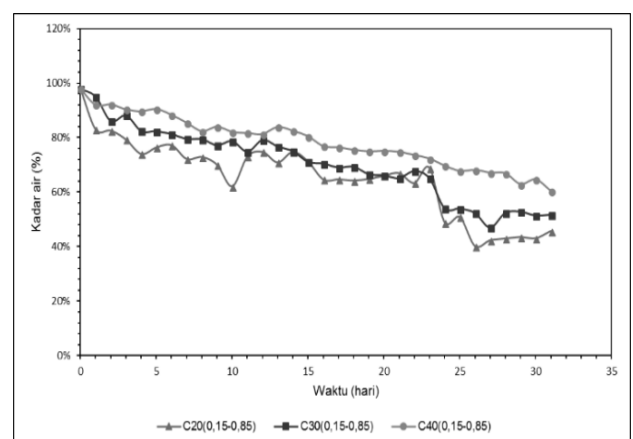
Pengolahan Data

Dilakukan pengolahan data dari hasil laboratorium. Pengolahan data meliputi perhitungan akumulasi massa TS dan TSS yang keluar melalui filtrat, efisiensi TS dan TSS melalui filtrat, rasio TSS/TS, kadar air, suhu lumpur, pengaruh perbedaan ketebalan lumpur terhadap efisiensi penyisihan TS dan TSS, dan pengaruh suhu lumpur terhadap efisiensi penyisihan TS dan TSS.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Kadar Air

Menurut PERMEN PUPR NOMOR 04/PRT/M/2017, lumpur yang telah dikeringkan pada *sludge drying bed* diharapkan sudah memiliki kandungan padatan yang tinggi (70% *solids*). Pada proses pengeringan terjadi proses evaporasi atau penguapan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, intensitas cahaya, luas permukaan, tekanan. Faktor-faktor tersebut yang dapat menurunkan kadar yang ada di dalam lumpur tersut, pengukuran kadar air dilakukan setiap hari selama proses pengeringan berlangsung yaitu 30 hari untuk melihat laju evaporasi pada setiap harinya.



Gambar 2. Hasil Penurunan Kadar air

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa reaktor dengan ketebalan lumpur awal 20 cm memiliki hasil kadar air akhir paling kecil.

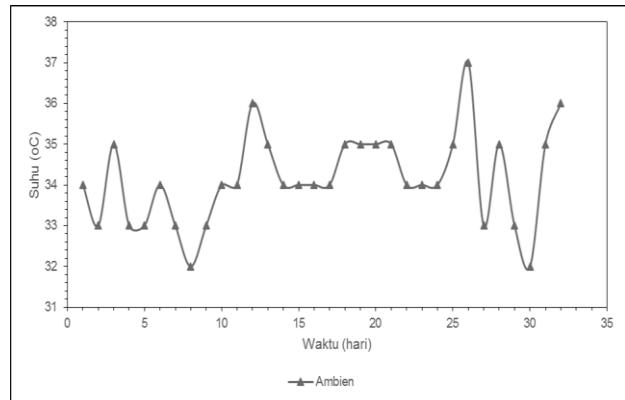
Hal tersebut dapat terjadi karena intensitas cahaya lebih mudah masuk kedalam lumpur dibandingkan dengan reaktor yang memiliki ketebalan yang lebih. Selain itu kadar air lumpur dengan ketebalan 20 cm sebagian besar telah keluar melalui pipa underdrain. Sedangkan reaktor dengan ketebalan lumpur awal 30 cm dan 40 cm lebih besar karena kurangnya faktor-faktor yang mendukung proses evaporasi. Proses pengeringan pada unit SDB tidak dipengaruhi oleh adanya hujan, karena lokasi penempatan reaktor memiliki atap. Lumpur dengan ketebalan 20 cm, 30 cm, dan 40 cm berturut-turut memiliki hasil kadar air akhir yaitu 45,7%, 51,75%, dan 60,4 %.

Pengaruh Suhu Lumpur Terhadap Penyisihan TS dan TSS Filtrat

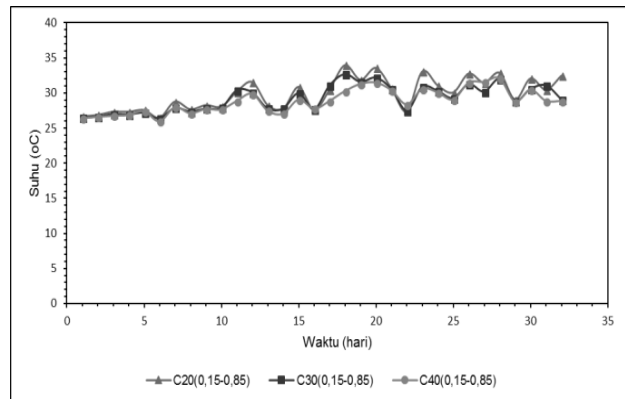
Pengukuran suhu lumpur dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu lumpur dalam proses pengeringan. Pada Gambar 3 dapat dilihat hasil pengukuran suhu lumpur selama penelitian berlangsung yaitu 30 hari. Suhu memiliki pengaruh yang besar dalam proses pengeringan karena mempercepat laju evaporasi (Stefankis dan Tsihrintzis, 2011). Pada kondisi kelembapan yang rendah, akan diikuti dengan tingginya suhu lumpur. Apabila didukung dengan adanya kecepatan angin, akan meningkatkan laju penurunan kadar air yang ada pada lumpur melalui proses penguapan atau evaporasi (Bassan dkk., 2014). Penguapan bebas pada permukaan lumpur juga tergantung pada suhu udara ambien yang ada di lingkungan sekitar reaktor. Semakin tinggi suhu udara ambien, akan membantu mempercepat proses penguapan lumpur. Selain itu suhu lumpur yang lebih tinggi, dengan kombinasi kelembapan yang relatif rendah akan meningkatkan jumlah total air yang dihilangkan melalui penguapan (Strande dkk., 2014).

Berdasarkan hasil pengukuran (Gambar 4), dapat dilihat bahwa grafik saling tumpang

tindih, yang artinya ketebalan lumpur yang digunakan tidak mempengaruhi perubahan suhu yang ada pada lumpur.



Gambar 3. Suhu Ambien



Gambar 4. Suhu Lumpur dengan variasi ketebalan lumpur

Berdasarkan Gambar 4 terlihat pola yang sangat fluktuatif dari hasil pengukuran suhu lumpur selama penelitian, yaitu 30 hari. Selama penelitian berlangsung, suhu lumpur mengalami suhu yang naik turun tidak stabil yang mengikuti suhu ambien seperti terlihat pada Gambar 3 yang ada pada lingkungan sekitar tempat penelitian. Pada hari ke 26 suhu ambien sangat tinggi, suhu yang ada pada lumpur juga sangat tinggi. Dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa pada hari ke 26 memiliki persentase penurunan kadar air yang cukup besar pula. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu ambien dan suhu lumpur, maka tingkat penurunan kadar air lumpur juga semakin tinggi.

Berdasarkan hasil uji statistik menggunakan Anova *One Way* (Tabel 2) dapat dilihat bahwa suhu lumpur mempengaruhi besarnya penyisihan TS dan TSS pada unit SDB yang dibuktikan dengan nilai Sig >0,05. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan juga dipengaruhi adanya pengaruh suhu lumpur yang ada pada masing-masing reaktor.

Tabel 2. Pengaruh Suhu Lumpur Terhadap Penyisihan TS dan TSS

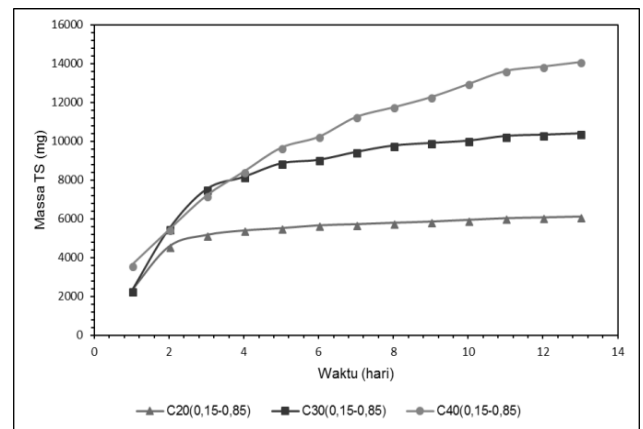
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TS	Between Groups	9038140 33,297	43	21018 931,00 7	1,58 5	,041
	Within Groups	9680494 93,584	73	13260 951,96 7		
	Total	1871863 526,881	116			
TSS	Between Groups	6434611 6,030	43	14964 21,303 6	1,78 6	,014
	Within Groups	6114994 8,449	73	83767 0,527		
	Total	1254960 64,479	116			

Analisis Penyisihan *Total Solids* (TS) pada Unit SDB

Pada penelitian ini, *Total Solids* (TS) merupakan parameter utama. Analisis TS dilakukan setiap hari dengan tujuan menentukan besarnya penurunan konsentrasi padatan baik terlarut maupun yang tersuspensi setelah melewati media filter. Pengeringan lumpur mengacu pada pembuangan air dari lumpur untuk penanganan dan penggunaan kembali yang lebih baik. Hal ini biasa dinilai dengan mengukur konsentrasi TS. Total padatan adalah salah satu dari parameter desain utama untuk instalasi pengolahan lumpur. Di daerah tropis, persentase TS untuk

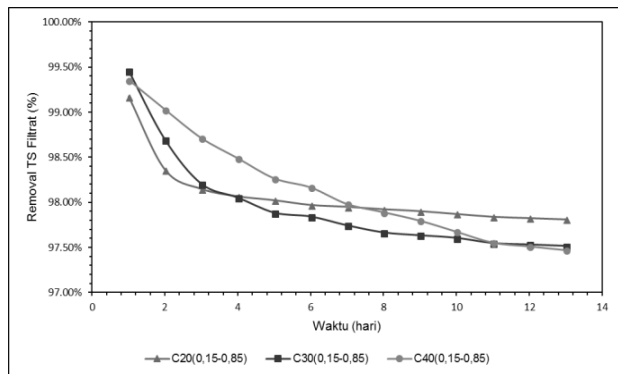
mencapai kering adalah 30% (Kengen *dkk.*, 2009).

Pada Gambar 5 dapat dilihat pada tabel bahwa massa TS pada awal filtrat keluar semakin meningkat, hal ini mungkin terjadi karena kemampuan media filter dalam menyisihkan TS semakin menurun karena adanya penyumbatan oleh bahan organik. Kurang lebih 12% dari total padatan keluar pada filtrat dan kurang lebih 88% terakumulasi pada lumpur (Koottatep *dkk.*, 2004).



Gambar 5. Akumulasi Massa TS Filtrat pada SDB

Pada Gambar 5 akumulasi massa TS filtrat pada reaktor dengan ketebalan lumpur awal 20 cm mulai stabil pada hari ke 5, untuk reaktor dengan ketebalan lumpur awal 30 cm mulai stabil hari ke 9, dan ketebalan 40 cm mulai stabil pada hari ke 11. Penentuan stabil tidaknya massa TS filtrat yaitu ketika akumulasi massa TS filtrat kurang dari 1%. Adanya perbedaan akumulasi massa filtrat pada setiap reaktor dapat terjadi karena adanya perbedaan antara bahan organik yang terlarut dan yang tersuspensi.

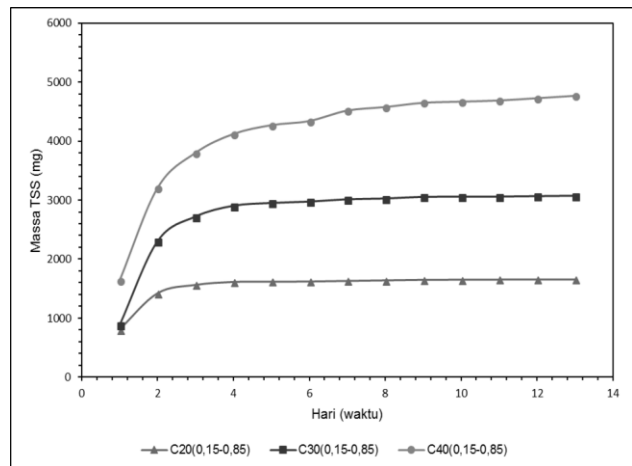


Gambar 6. Removal TS melalui Filtrat pada SDB

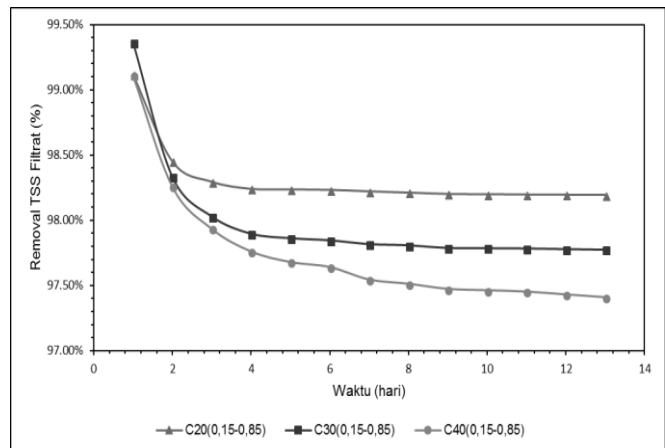
Metode analisis yang digunakan adalah gravimetri. Pola yang dihasilkan menunjukkan bahwa ketebalan lumpur mempengaruhi secara signifikan massa TS yang akan keluar melalui filtrat. Hal ini dibuktikan dari tidak saling bersinggungannya garis dari variasi ketebalan lumpur. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa persentase removal semakin hari semakin menurun dan pada akhir penelitian ketebalan lumpur 40 cm memiliki hasil persentase penyisihan TS paling kecil. Pada Gambar 6 terlihat bahwa ketebalan lumpur 30 cm dan 40 terjadi perpotongan garis, hal tersebut menunjukkan bahwa persentase removal dengan ketebalan 40 cm tidak terjadi perbedaan yang signifikan, sehingga dapat dikatakan bahwa penyisihan TS pada ketebalan lumpur 40 cm tidak berjalan dengan optimal. Dari Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penyisihan TS tertinggi adalah pada ketebalan lumpur 20 cm.

Analisis Penyisihan Total Suspended Solids (TSS) pada Unit SDB

Analisis Total Suspended Solids (TSS) dilakukan setiap hari dengan tujuan mengetahui besarnya kemampuan media filter dalam meremoval padatan tersuspensi. Pengukuran penyisihan TSS melalui filtrat selama filtrat keluar (13 hari). Gambar 7 menunjukkan akumulasi massa TSS yang keluar melalui filtrat.



Gambar 7. Akumulasi Massa TSS Filtrat pada SDB



Gambar 8. Efisiensi Penyisihan TSS Filtrat pada SDB

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa hasil akumulasi massa TSS filtrat dengan ketebalan lumpur 40 cm lebih tinggi dibandingkan dengan ketebalan 20 cm dan 30 cm. Hal ini dapat terjadi karena media filter pada reaktor dengan ketebalan lumpur 40 cm memiliki beban filtrasi lebih banyak dibandingkan ketebalan 20 cm dan 30, sehingga media filter lebih cepat untuk jenuh dan mengalami clogging. Selain itu, persentase filtrasi pada reaktor dengan ketebalan 20 cm lebih besar dari reaktor dengan ketebalan 30 cm dan 40 cm, dapat dikatakan bahwa tidak terjadi penyumbatan pada reaktor dengan ketebalan 20 cm sehingga memiliki nilai TSS yang lebih kecil dibandingkan dengan reaktor dengan ketebalan lumpur 30 cm dan 40 cm yang

memiliki nilai TSS lebih besar. Beban permukaan pada reaktor dengan ketebalan lumpur 40 cm lebih besar dibandingkan reaktor dengan ketebalan lumpur 30 cm dan 20 cm, sehingga massa lumpur yang tertinggal juga semakin besar.

Adanya perbedaan akumulasi massa filtrat pada setiap reaktor dapat terjadi karena adanya perbedaan antara bahan organik yang terlarut dan yang tersuspensi. Akumulasi massa filtrat dikatakan stabil ketika akumulasi kurang dari 1%. Akumulasi massa TSS filtrat pada reaktor dengan ketebalan lumpur awal 20 cm mulai stabil pada hari ke 4, untuk reaktor dengan ketebalan lumpur awal 30 cm mulai stabil hari ke 7, dan ketebalan 40 cm mulai stabil pada hari ke 9.

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa persentase removal semakin hari semakin menurun dan pada akhir penelitian. Lumpur dengan ketebalan 20 cm memiliki hasil persentase penyisihan TSS paling besar. Pada Gambar 8 terlihat bahwa ketiga ketebalan lumpur tidak terjadi perpotongan garis, hal tersebut menunjukkan bahwa persentase removal TSS terjadi perbedaan yang sangat signifikan, sehingga dapat dikatakan bahwa penyisihan TSS masing-masing ketebalan lumpur 40 cm berjalan dengan optimal. Dari Gambar 8 dapat disimpulkan bahwa efisiensi penyisihan TSS tertinggi adalah pada ketebalan lumpur 20 cm.

Pengaruh Ketebalan Lumpur terhadap penyisihan TS dan TSS Filtrat

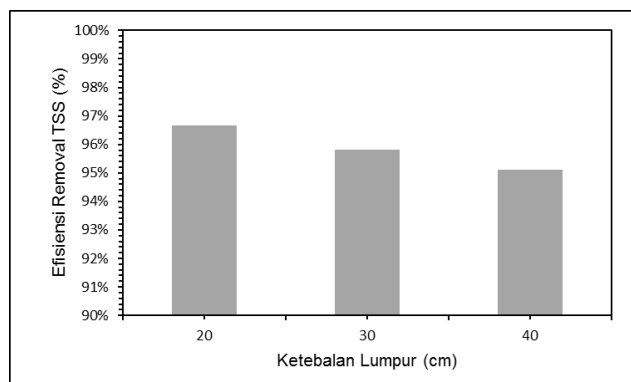
Kemampuan penyaringan pasir ditentukan oleh tingkat porositas dan luas permukaannya. Tingkat porositas yang tinggi dan luas permukaan yang lebar akan menghasilkan kemampuan penyaringan yang tinggi pula (Droste, 1997). Porositas media filter tergantung pada bagaimana susunan butiran-butiran tersebut di dalam lapisan media filter. Sedangkan karakteristik partikel yang berpengaruh pada porositas dan luas

permukaan adalah *sphericity* atau tingkat kebulatan dari partikel tersebut. Hal ini juga didukung pernyataan bahwa pada media filter, semakin besar persentase porositas maka semakin besar pula volume pori yang terdapat pada media filter, begitu juga sebaliknya (Prihatin *dkk.*, 2011).

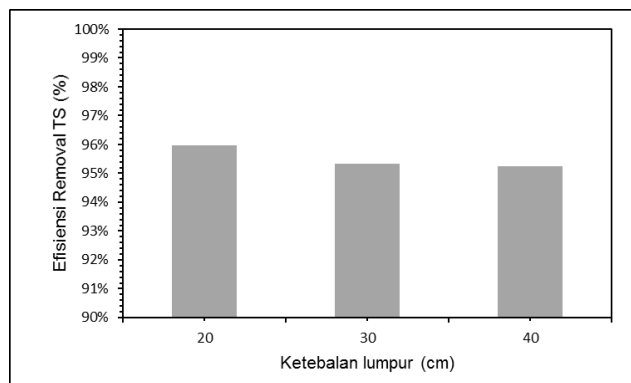
Selain itu, ukuran media pun juga berpengaruh pada efisiensi penyisihan TSS yang mana ukuran media pasir (0.212-0.425 mm) adalah yang memiliki efisiensi penyisihan yang paling tinggi. Penggunaan media filter yang lebih kecil dapat meningkatkan efisiensi penyaringan. Ukuran media filter yang kecil akan menyediakan total area permukaan lebih besar yang akan meningkatkan efisiensi penyisihan (Fitri *dkk.*, 2013). Efisiensi tertinggi dicapai pada ukuran media filter halus (Θ 12-2 mm) karena semakin kecil ukuran media filter maka celah diantara media juga akan semakin kecil sehingga area permukaan yang tersedia lebih besar untuk mengadsorpsi partikel padatan sehingga efisiensi penyisihan semakin meningkat (Nkwonta dan Ochieng, 2009).

Ukuran media filter berpengaruh pada porositas dan daya serap yang mana semakin kecil ukuran butiran, maka luas permukaannya makin besar juga, sehingga daya serapnya semakin besar (Edhawati dan Suprihatin, 2010).

Berdasarkan uji *Anova One Way* menggunakan SPSS 22 (Tabel 3) menghasilkan bahwa ketebalan lumpur yang masuk hanya mempengaruhi besarnya penyisihan TS yang keluar melalui filtrat sedangkan besarnya TSS tidak terpengaruh. Namun, pada Gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa besarnya lumpur yang masuk mempengaruhi persentase penyisihan TS dan TSS yang keluar pada filtrat. Hasil *Anova* menunjukkan berpengaruh jika memiliki derajat kepercayaan lebih dari 95% (Sig < 5%).



Gambar 9. Pengaruh Ketebalan Lumpur Masuk Terhadap Penyisihan TSS Filtrat



Gambar 10. Pengaruh Ketebalan Lumpur Masuk Terhadap Penyisihan TS Filtrat

Tabel 3. Pengaruh Ketebalan Lumpur masuk Terhadap Penyisihan TS dan TSS Filtrat

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TS	Between Groups	1349743	2	674871	4,4	,014
	Within Groups	1736889	114	152358	29	
	Total	1871863	116	70,117		
		526,881				
TSS	Between Groups	3060545,	2	153027	1,4	,245
	Within Groups	658	114	2,829	25	
	Total	1224355		107399		
		18,821		5,779		

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Total	1254960	116	64,479		

4. KESIMPULAN

1. Efisiensi penyisihan optimum melalui filtrat untuk TS sebesar 98,3% dan TSS sebesar 98,27%.
2. Semakin besar ketebalan lumpur yang dimasukkan pada unit SDB mempengaruhi peningkatan efisiensi penyisihan TS dan TSS yang keluar melalui filtrat.
3. Semakin tebal ketebalan lumpur yang digunakan pada proses pengeringan menggunakan unit SDB, waktu yang dibutuhkan juga semakin lama yaitu untuk ketebalan lumpur 20 cm, 30 cm, dan 40 cm berturut turut membutuhkan waktu pengeringan 4-5 hari, 7-9 hari, dan 9-11 hari.

DAFTAR PUSTAKA

Bassan, M., Dodane, P.H., Strande, L. (2014). Faecal Sludge Management. London: IWA Publishing.

Cofie, O. O., Agbottah, S., Strauss, M., Esseku, H., Montangero, A., Awuah, E., Kone, D. (2006). Solid-liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: Implications for nutrient recycling in urban agriculture. *Water Research*, 40(1), 75-82.

Danish, M., Jing, H., Pin, Z., Ziyang, L., Pansheng, Q. (2016). A new drying kinetic model for sewage sludge drying in presence of CaO and NaClO. *Applied Thermal Engineering*, 106(Supplement C), 141-152.

- Droste, R. L. (1997). *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons ; New York.
- Edhawati, L. dan Suprihatin. (2010). Kombinasi Proses Aerasi, Adsorpsi dan Filtrasi Pada Pengolahan Air Limbah Industri Perikanan. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* Vol 1. No 2 ; Surabaya
- Fitri, I.T., Samudro, G., Sumiyati, Sri. (2013). Studi Penurunan Parameter TS dan Turbidity Dalam Air Limbah Domestik Artifisial Menggunakan Kombinasi Vertical Roughing Filter dan Horizontal Roughing Filter. *Jurnal Teknik Lingkungan UNDIP*. Vol 2.No 2. Halaman 5.
- Hu, S., She, X., Wei, X., Hu, B., Hu, C., Qian, Y., Chen, Z. (2017). Surplus sludge treatment in two sludge treatment beds under subtropical condition in China. *Environmental Biotechnologies for Sustainable Development (EBSuD)*, 119(Supplement C), 377–386.
- Hutagalung, W.L.C. (2012). Pengaruh Pengadukan Terhadap Jumlah Fecal Coliform dan Salmonella sp Kompos Lumpur Tinja pada IPLT Kalimuya Depok. Jakarta : Universitas Indonesia.
- Kengne, I.M., Dodane, P.-H., Amougou Akoa, Koné, D., (2009). Vertical flow constructed wetlands as sustainable sanitation Approach for faecal sludge dewatering in developing countries. *Desalination*, (248) p291-297.
- Koottatep, T., Surinkul, N., Polprasert, C., Kamal A.S.M., Koné, D., Montangero, A., Heinss, U., Strauss, M. (2004). Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate—Lessons learnt after seven years of operation. *Water Science and Technology* 51 (9), p.119-126.
- Kuffour, A. R., Awuah, E., Anyemedu, F. O. K., Strauss, M., Koné, D., Cofie, O. (2009). Effect of using different particle sizes of sand as filter media for dewatering faecal sludge. *Desalination*, 248(1), 308–314.
- Nkwonta, O., Ochieng, G. (2009). Roughing Filter For Water Pre Treatment Technology In Developing Countries. *International Journal Of The Physical Sciences*. Vol 4. No 9. ISSN 1992-1950 *Academic Journals* ; South Africa.
- Prihatin, Tri, Joko. (2011). Pembuatan Filter Keramik Berbahan Dasar Tanah Liat Sebagai Kandidat Pengolahan Limbah Radioaktif Cair. *Prosiding Seminar Nasional* ISSN: 0854-2910. Yogyakarta.
- Sarah, M. (2005). Proses Reduksi Eksek Lumpur Aktif dari Ipal Industri Pembuatan Kertas. *Jurnal Sistem Teknik Industri* Volume 6, No. 3 Juli 2005.
- Stefanakis, A. I., Tsihrintzis, V. A. (2011). Dewatering Mechanisms In Pilot-Scale Sludge Drying Reed Beds: Effect Of Design And Operational Parameters. *Chemical Engineering Journal*, 172(1), 430–443.
- Strande, L., Ronteltap, M., Brdjanovic, D. (2014). *Faecal Sludge Management. Systems Approach for Implementation and Operation*. IWA Publishing in London, UK.
- Uggetti, E., Argilaga, A., Ferrer, I., García, J. (2012). Dewatering model for

optimal operation of sludge treatment wetlands. *Water Research*, 46(2), 335–344.