

Perencanaan Tipikal Unit Pengolahan Lumpur Tinja Skala Kecil Kota Surabaya

Zahratun Nuraida dan Welly Herumurti
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: herumurti@enviro.its.ac.id

Abstrak—Beberapa fasilitas MCK di Surabaya diketahui menghasilkan *effluent* yang tidak memenuhi baku mutu. Hal ini disebabkan oleh terakumulasinya lumpur dalam fasilitas tersebut. Akumulasi lumpur yang berlebih merupakan akibat dari tidak dilakukannya pengurasan lumpur secara berkala yang dikarenakan oleh kendala jarak serta keterbatasan alat angkut. Pengolahan lumpur tinja pada umumnya menggunakan *dewatering*. Semakin tebal media pasir yang digunakan maka semakin tinggi efisiensi penurunan beban polutan pada filtrat. Namun hal tersebut akan mengakibatkan volume pasir yang dibutuhkan semakin besar dan mengurangi efektifitas filter. Penambahan media filter *geotextile* merupakan alternatif yang direkomendasikan untuk mengurangi volume pasir yang dibutuhkan serta mempermudah pencian media filter. Berdasarkan hasil diperoleh bahwa penambahan *geotextile non woven 6cm* pada media filter, mampu meningkatkan kemampuan media filtrasi berupa kenaikan penyisihan pada TSS hingga 99,99%, TN 98%, ammonia 99,99%, BOD5 99,99%, TVS 99,99% dan Total Coliform 99,99%. Dimensi unit *dewatering* yang direncanakan adalah menggunakan bak pengering berukuran P=4,3m, L= 2,3m tinggi 1,06m dan bak penampung filtrat P= 2,3m dan L=1,3m.

Kata Kunci—*Dewatering, Filter, Geotextile non woven, Lumpur Tinja, Pasir*

I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN fasilitas MCK komunal merupakan sarana untuk meningkatkan akses sanitasi kota. Kota Surabaya membangun fasilitas sanitasi berupa MCK ++, kombinasi MCK++ dengan sambungan pipa, serta IPAL komunal. Beberapa fasilitas MCK di Surabaya diketahui menghasilkan *effluent* yang tidak memenuhi baku mutu[1]. Salah satu penyebab kualitas air limbah tidak memenuhi baku mutu ialah terakumulasinya lumpur tinja dalam fasilitas pengolahan sehingga mengganggu proses dekomposisi air limbah. Akumulasi lumpur yang berlebih merupakan akibat dari tidak dilakukannya pengurasan lumpur secara berkala yang dikarenakan oleh kendala jarak serta keterbatasan alat angkut[2].

Pada dasarnya lumpur yang terdapat pada tinja merupakan akumulasi dari padatan yang berasal dari tangki septik[3]. Lumpur yang dihasilkan dari tangki septik komunal masih memiliki kadar air dan zat organik yang tinggi yang dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan[4]. *Dewatering* merupakan teknologi yang umum digunakan, prinsip yang digunakan adalah pemisahan padatan cairan melalui filtrasi dan evaporasi[5]. Semakin tebal media pasir yang digunakan maka semakin tinggi efisiensi penurunan beban polutan pada filtrat[6]. Namun hal tersebut akan mengakibatkan volume pasir yang dibutuhkan semakin besar dan mengurangi efektifitas filter. Penambahan *geotextile* merupakan alternatif

Tabel 1.
Karakteristik Lumpur Tinja

Parameter	Satuan	Karakteristik	
		Lumpur toilet umum	Lumpur tinja
TS	mg/L	52.500	12.000-35.000
	%	2	0,54
		> 3.5%	<3%
	mg/L	20.367	7.850
	mg/L	30000-52500	12000-35000
Total volatile solid	mg/L	19.000	34.900
		68	50-73
	%	65-68	45-73
		57	54
		85	73
COD		70	45-73
		49.000	1200-7800
		20.000-50.000	< 10.000
	mg/L	NA	18.240
		26765.85	9.495
BOD		25.407	8.361
		7.600	840-2600
	mg/L	NA	6.400
		4.313	3.993
		4000-10000	1.400
NH4-N		2000-5000	120-1200
	mg/L	3.300	150-1200
		2000-5000	<1000
	mg P/L	400	150
		262	249
pH		1,5-12,6	0,00
		7,48	7,41
		7,58	7,66
		7,80	7,50
	Total Coliform	cfu/100ml	1x10 5
		NA	3.400

yang direkomendasikan untuk mengurangi volume pasir yang dibutuhkan [7]. Filter *geotextile* memiliki tingkat ketebalan yang rendah serta mampu meningkatkan kemampuan dan kinerja filter [8]. Selain itu penambahan *geotextile* diharapkan mampu mempermudah proses pencucian saat media filter mengalami *clogging*[9].

II. METODOLOGI PENULISAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan studi literatur dengan mengumpulkan serta menganalisis berbagai pustaka. Kajian pustaka yang dikumpulkan berkaitan dengan karakteristik dari lumpur tinja dan teknologi pengolahannya. Teknologi pengolahan lumpur tinja difokuskan pada pengolahan menggunakan prinsip *dewatering*. Sumber pustaka yang digunakan berasal dari *text book*, jurnal ilmiah nasional dan jurnal ilmiah internasional. Studi kasus pada tugas akhir ini adalah dari fasilitas MCK di

Tabel 2.
Kriteria Desain *Dewatering*

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Ketebalan media pasir	cm	15-35
2	Diameter media pasir	mm	0,1-1,5
3	Ketebalan media kerikil	cm	10-15
4	Diameter media kerikil	mm	5-10
5	Ketebalan Lumpur	cm	20-40

Surabaya yang memiliki keterbatasan akses, sehingga diperlukan pengolahan lumpur tinja skala kecil menggunakan *dewatering*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Lumpur Tinja

Lumpur tinja memiliki karakteristik yang berbeda-beda, hal ini bergantung pada durasi penyimpanan, sumber, densitas lumpur, komposisi lumpur, penyimpanan, ketersediaan oksigen saat penyimpanan, temperatur, dan kelembaban[10]. Berikut adalah karakteristik lumpur tinja dari berbagai literatur ditampilkan pada Tabel 1 [3], [11]–[17].

B. Teknologi Pengolahan Lumpur Tinja

Pemilihan pengolahan lumpur tinja umumnya didasarkan pada karakteristik dari lumpur tinja dan opsi pengolahan lanjutan berdasarkan pemanfaatannya (pupuk, biogas atau tanah penimbun limbah)[18]. Berdasarkan karakteristiknya lumpur tinja memiliki kadungan kadar air dan zat organik yang cukup tinggi sehingga diperlukan pengolahan primer berupa pemisahan padatan dan cairan atau *dewatering* serta stabilisasi. Menggunakan *dewatering* mampu mengurangi kadar air yang cukup tinggi sehingga mengurangi beban pengangkutan dan lebih mudah penanganannya. Selain itu lumpur yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai kompos[19]. Proses yang terjadi pada *dewatering* meliputi pengendapan secara gravitasi, filtrasi, evaporasi. Selain itu, proses *dewatering* dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain faktor suhu dan iklim, jenis lumpur, ketebalan diameter media filter, diameter media filter.

C. Kriteria Desain *Dewatering*

Beberapa contoh teknologi yang menggunakan prinsip *dewatering* adalah *unplanted drying bed*, *planted drying bed*, *sludge drying bed*, *solid separation chamber*. Berdasarkan kajian literatur didapatkan bahwa susunan media yang digunakan untuk *dewatering* berupa kerikil dengan ketebalan 10-15 cm berdiameter 5-10mm. Media pasir yang digunakan pada range ketebalan 15-35 cm dengan diameter yang digunakan pada range 0,1-1,5 mm bergantung pada ukuran ayakan yang tersedia. Ketebalan lumpur yang digunakan pada range 20-40cm. Waktu pengeringan 4-42 hari dengan kadar air yang dihasilkan 37-70%. Lebih ringkasnya lagi ditampilkan pada Tabel 2 atau dapat dilihat[20]–[24]. Penambahan *geotextile* akan meningkatkan efisiensi penyisihan polutan pada media filter. Jenis dari *geotextile* yang digunakan merupakan *geotextile non woven PP Stapled fiber* dan *geotextile non woven PET continous filament* [7].

Tabel 3.
Alternatif *Dewatering* 1

Karakteristik	Nilai	%Removal	Effluent
TSS(mg/L)	10000	97,1%	289
COD (mg/L)	49000	99,6%	196
BOD (mg/L)	7600	99,6%	30
NH4-N (mg/L)	2000	98,1%	39
TN (mg/L)	1020	92,0%	81
TVS(mg/L)	20000	98,9%	229
Coliform (MPN/100ml)	100000	99,4%	600

Tabel 4.
Alternatif *Dewatering* 2

Karakteristik	Nilai	%Removal	Effluent
TSS(mg/L)	10000	99,99%	1,0
COD (mg/L)	49000	99,99%	4,9
BOD (mg/L)	7600	99,99%	0,8
NH4-N (mg/L)	2000	99,99%	0,2
TN (mg/L)	1020	98,14%	19,0
TVS(mg/L)	20000	99,99%	2,0
Coliform (MPN/100ml)	100000	99,99%	10,0

Ketebalan *geotextile non woven* yang digunakan adalah 1-6cm. [6], [8], [25], [26]

D. Alternatif Pengolahan Lumpur Tinja Menggunakan *Dewatering*

Alternatif yang dipertimbangkan pada pengolahan lumpur tinja didasarkan pada penggunaan media filter. Berdasarkan literatur yang diperoleh diketahui bahwa media filter *geotextile* mampu meningkatkan kinerja dari media filter. Sehingga alternatif yang disajikan berupa media filter menggunakan *geotextile* dan tanpa penggunaan *geotextile*.

1) Alternatif 1

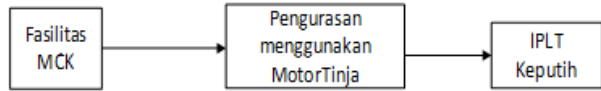
Alternatif yang digunakan berdasarkan literatur dengan menggunakan menggunakan susunan konfigurasi media kerikil 15cm (diameter 5-10mm), pasir 20cm (diameter 0,2-0,6 mm), ketinggian lumpur 40cm [20], [24]. Efisiensi penyisihan dihitung berdasarkan literatur dengan perbandingan rasio massa yang masuk dan teremoval. Diketahui hasil nilai masing- masing parameter menggunakan penelitian sebelumnya yakni dsidapatkan nilai sebagai berikut:

Konsentrasi TKN awal	= 2,1 g/L [20]
Konsentrasi ammonia awal	= 1,2 g/L[20]
Konsentrasi NO ₃ awal	= 0,7 g/L[20]
Konsentrasi TN awal	= NO ₃ + TKN
	= 2,1 g/L + 0,7 g/L
	= 2,8 g/L[20]
Konsentrasi TKN akhir	= 0,27 g/L[20]
Konsentrasi ammonia akhir	= 0,15 g/L[21]
Konsentrasi NO ₃ akhir	= 0,7 g/L[20]
Konsentrasi TN akhir	= NO ₃ + TKN
	= 0,75 g/L + 0,27 g/L
	= 1,02 g/L[20]
Konsentrasi ammonia awal	= 0,186g/L[24]
Konsentrasi ammonia akhir	= 0,005 g/L[24]

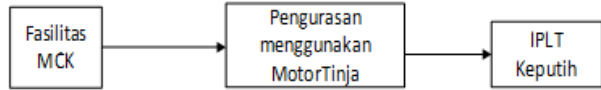
Untuk mengetahui nilai masing masing parameter dapat menggunakan perbandingan rasio yang diketahui pada media filter memiliki susunan media yang sama dengan range

Tabel 5.
Fasilitas MCK yang Memiliki Keterbatasan Akses

Nomor dan Jenis Fasilitas	Alamat	Titik Koordinat	Jarak Ke IPLT
MCK++1	Jl Petemon IV No.127 RT4/RW14	7°15'56''S122°43'03''E	13km
MCK++4	Jl Dupak VI	7°14'35S112°43'15'E	15km
MCK++8	Jl Kalibutih Timur Gang 3 No. 5A RT 5 RW 7	7°15'23S112°43'28''E	13km
MCK K 18	Jl. Surabayan IV No. 36 RT 7 RW 2	7°15'59S112°43'59''E	11km
MCK K 29	Jl. Larangan Gang 8	7°14'43S112°47'53''E	6,8km
MCK K 30	Jl. Rungkut Tengah gang Sawah	7°19'59S112°46'13''E	9,3km



Gambar 1. Perencanaan Pengolahan Lumpur Klaster 1.



Gambar 2. Perencanaan Pengolahan Lumpur Klaster 2.

karakteristik media yang sama. Berikut adalah contoh perhitungan konsentrasi N menggunakan perbandingan rasio TN dan ammonia dengan perbandingan TN awal A dibagi Amonia awal A sama dengan dengan perbandingan TN awal B dibagi Amonia awal B

$$\frac{TN\ awal\ A}{Ammonia\ awal\ A} = \frac{TN\ awal\ B}{Ammonia\ awal\ B}$$

Sehingga konsentrasi N awal pada penelitian D. Wulandari sebagai berikut [24]:

$$\begin{aligned} TN\ awal\ A &= Ammonia\ awal\ A \times (TN\ awal / Ammonia\ awal) \\ TN\ A &= (0,0186\ g/L) \times (2,8\ g/L/1,2) \\ &= 0,434\ g/L \end{aligned}$$

Setelah didapat TN awal maka melakukan perbandingan rasio untuk mengetahui kandungan TN setelah removal:

$$\begin{aligned} TN\ akhir\ A &= Ammonia\ akhir\ A \times (TN\ akhir / Ammonia\ akhir) \\ TN\ akhir\ A &= 5,084\ (0,0186\ g/L) \times (1,02/50) \\ &= 0,034g/L \end{aligned}$$

Maka dari hasil perbandingan, dapat dilakukan perhitungan %removal penyisihan TN adalah:

$$\begin{aligned} \%removal\ TN &= (TN\ akhir - TN\ awal) / TN\ awal \\ &= 0,92 \\ &= 92\% \end{aligned}$$

Berdasarkan dari susunan media tersebut didapatkan hasil dari perhitungan efisiensi peningkatan penurunan beban pencemar pada filtrat ditampilkan pada Tabel 3.

2) Alternatif Dewatering 2

Pada alterntif 2 dilakukan penambahan media filter *geotextile non woven* 6cm diatas media pasir. Penambahan *geotextile* mampu meningkatkan kinerja dari media filter. Penambahan *geotextile* pada media akan berpengaruh pada peningkatan efisiensi penurunan berapa parameter. Berdasarkan literatur didapatkan data sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \%TSS\ tanpa\ geotextile^a &= 88,31\% [26] \\ \%TSS + geotextile^a &= 91,55\% [26] \\ \%E.\ coli\ tanpa\ geotextile^a &= 96,81\% [25] \\ \%E.\ coli + geotextile^a &= 99,38\% [25] \\ \%TN\ tanpa\ geotextile^b &= 9,42\% [27] \\ \%TN + geotextile^b &= 18,33\% [27] \\ \%P\ tanpa\ geotextile^b &= 27,10\% [27] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%P + geotextile^b &= 31,32\% [27] \\ Selisih\ dari\ \%removal\ dari\ masing-masing\ parameter: \\ Selisih\ \%TSS &= \%TSS\ geotextile - \%TSS\ tanpa\ geotextile \\ &= 91,55\% - 88,31\% \\ &= 3,24\% \\ \%R\ TSS &= \%TSS\ alternatif\ 1 + selisih\ \%TSS \\ &= 97,11\% + 3,24\% \\ &= 100,35\% \sim 99,99\% \\ Selisih\ E.coli &= 99,38\% - 96,81\% \\ &= 2,57\% \\ \%R\ E.\ coli &= 99,40\% + 2,57\% \\ &= 101,97\% \sim 99,99\% \\ Selisih\ TN &= 27,10\% - 9,42\% \\ &= 17,67\% \\ &= 92\% + 6\% \\ &= 98\% \end{aligned}$$

Efisiensi penyisihan pada parameter beban pencemar mengalami kenaikan. Hasil dari perhitungan ditampilkan pada Tabel 4. Penambahan *geotextile* pada media menyebabkan melekatnya polutan pada media yang disebabkan oleh ukuran partikel yang tidak bisa melewati pori-pori geotekstil[25]. Selain itu penambahan *geotextile* diharapkan mampu mempermudah proses pencucian saat mengalami *clogging* [9]. Pada penambahan *geotextile textile non woven* 6cm pada reaktor akan meningkatkan %penyisihan pada TSS sebesar 3,24%, E. coli 2,57%, TN 17,67%.

E. Kondisi Eksisting Fasilitas MCK Kota Surabaya

Berdasarkan data yang diperoleh beberapa fasilitas sanitasi di Surabaya memiliki beberapa kendala akses yang berhubungan dengan pengurusan lumpur. Akses yang dimaksud yaitu jarak yang ditempuh truk tinja atau sedot lumpur cukup jauh dan lebar jalan yang sulit dapat dilalui truk tinja. Jika lumpur yang dihasilkan melebihi kapasitas dari fasilitas akan berdampak pada kualitas buangan yang dihasilkan. Berikut adalah data fasilitas MCK yang dinilai memiliki keterbatasan akses pada Tabel 5. Berdasarkan lokasi diatas letak MCK++1, MCK++4, MCK++8, MCK K 18 memiliki jarak yang jauh dari IPLT Keputih. Sedangkan pada MCK K 29 dan MCK K 30 jarak yang relatif dekat untuk menuju IPLT. Sehingga perencanaan pengelolaan lumpur pada fasilitas MCK dibagi menjadi 2 klaster yaitu:

1) Klaster 1

Pengelolaan lumpur pada klaster 1 pada fasilitas MCK++1, MCK++4, MCK++8, dan MCK K 18 dimana memiliki kondisi akses jalan yang sempit serta lokasi yang cukup jauh dari IPLT. Sehingga perencanaan pengolahan lumpur ditampilkan pada Gambar 1.

2) Klaster 2

Pada MCK K 29 dan MCK K 30 memiliki akses jalan yang sempit sehingga dilakukan pengurusan lumpur menggunakan

Tabel 6.
Produksi Lumpur Masing masing Fasilitas MCK

Fasilitas	m ³ /tahun	m ³ /tahun	m ³ /tahun
MCK ++1	0,80	1,08	1,13
MCK++4	1,11	1,49	1,57
MCK++8	1,25	1,68	1,77
MCK K 18	3,01	4,02	4,24
MCK K 29	0,41	0,55	0,58
MCK K 30	2,46	3,29	3,47

Tabel 7.
Reduksi Volume Lumpur

Tahun Ke-	Volume Lumpur (m ³)	Reduksi	Volume Lumpur Setelah Reduksi	Kapasitas Ruang Lumpur (m ³)
1	0,80	84%	0,68	14
2	1,61	65%	1,05	14
3	2,41	50%	1,21	14
4	3,22	48%	1,54	14

motor tinja untuk mengakses wilayah tersebut. Jarak dari kedua fasilitas MCK ini relatif dekat dengan IPLT. Oleh karena itu lumpur hasil pengurasan akan dilimpahkan ke IPLT. Alur perencanaan pengolahan lumpur klaster 2 ditampilkan pada Gambar 2.

F. Perencanaan Pengurasan

Waktu pengurasan lumpur disesuaikan dengan dimensi dari ruang lumpur dengan jumlah lumpur yang diproduksi oleh fasilitas. Berikut perhitungan dari massa lumpur yang dihasilkan dari settler MCK ++ 1 :

- Debit = 10441,26 L/hari
- [TSS]in = 120 mg/L
- [TSS]out = 93,1 mg/L
- [COD]in = 263,7 mg/L
- [COD]out = 248,9 mg/L
- SRT = 14 hari
- Y anaerobik = 0,06 g VSS/g COD
- kd = 0,1 g VSS/g VSS.hari

1) Perhitungan P x VSS

$$P \times VSS = \frac{Q \times Y \times (S_0 - S)}{1 + k_d \times SRT} = \frac{10441,26 \frac{L}{hari} \times 0,06 \times (120 - 93,1) \frac{mg}{L}}{1 + \frac{0,1}{hari} \times 14 \text{ hari}} = 0,004 \text{ kg/hari}$$

2) Perhitungan P x TSS

$$P \times TSS = Q \times ([TSS]in - [TSS]out) = 10441,26 \text{ L/hari} \times (120 - 93,1) \text{ mg/L} = 0,281 \text{ kg/hari}$$

3) Perhitungan P x total

$$P \times total = P \times VSS + P \times TSS = \frac{0,004 \text{ kg/hari}}{0,85} + 0,281 \text{ kg/hari} = 0,286 \text{ kg/hari}$$

Berikut perhitungan dari debit lumpur yang dihasilkan pada settler fasilitas MCK++1:

Diketahui:

- Sg solid = 2,65
- % solid = 12%
- ρ air = 1000 kg/m³

4) Perhitungan Sg lumpur

$$1/sg \text{ lumpur} = \frac{\%solid}{sg \text{ solid}} + \frac{\%air}{sg \text{ air}} = \frac{12\%}{2,65} + \frac{88\%}{1} = 0,925$$

$$Sg \text{ lumpur} = 1/0,925 = 1,081$$

5) Perhitungan Debit lumpur

$$Q \text{ lumpur} = \frac{P \times total}{sg \text{ lumpur} \times \rho \text{ air} \times \% \text{ solid}} = \frac{0,268 \text{ kg/hari}}{1,081 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 12\%} = 0,8 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka dapat ditentukan jumlah produksi lumpur pada masing masing fasilitas MCK. Produksi lumpur masing masing fasilitas MCK ditampilkan pada Tabel 6. Dikarenakan setiap fasilitas MCK memiliki dimensi yang berbeda beda maka diperlukan perhitungan kapasitas ruang lumpur. Berikut adalah contoh perhitungan kapasitas ruang lumpur pada MCK++1:

Diketahui

- Lebar settler (W) = 2 m
- Panjang settler (L) = 4 m
- Tinggi air (H) = 2,5 m
- Volume ruang Lumpur settler = W x L x 50% H = 2 m x 4m x (50% x 2,5m) = 14 m³
- Lebar ABR (W) = 3 m
- Panjang ABR (L) = 2 m
- Tinggi air (H) = 2,5 m
- Volume ruang Lumpur ABR = W x L x 50% H = 3 m x 2 m x (50% x 2,5 m) = 7,5 m³
- Lebar AF (W) = 1 m
- Panjang AF (L) = 2 m
- Tinggi air (H) = 2,5 m
- Volume ruang Lumpur AF = W x L x 50% H = 1m x 2 m x (50% x 2,5m) = 3,5 m³

Setiap tahunnya lumpur pada masing masing ruang akan mengalami stabilisasi, sehingga volume lumpur akan mengalami reduksi. Berikut adalah perhitungan reduksi lumpur pada fasilitas MCK ++1 ditampilkan pada Tabel 7. Saat pengurasan, lumpur dalam fasilitas akan disisakan kurang lebih 20% dari jumlah lumpur yang teredia. Hal ini digunakan untuk proses stabilisasi dipengolahan selanjutnya. Sehingga perhitungan pengurasan lumpur pada MCK++1 dilakukan sebagai berikut:

Diketahui :

- Volume lumpur settler (Vset) = 2,14 m³
- % Pengurasan = 80%
- Volume Lumpur dikuras = Vset x % Pengurasan = 2,14 m³ x 80% = 1,71 m³

Tabel 8.
Jadwal Pengurasan Klaster 1

Nama MCK	Kompartemen	Waktu Pengurasan	Jumlah Lumpur dikuras (m ³)
MCK++ 1	Settler	4 Tahun	1,23
	ABR	4 Tahun	1,65
	AF	4 Tahun	1,74
MCK++ 4	Settler	4 Tahun	1,71
	ABR	4 Tahun	2,29
	AF	4 Tahun	2,41
MCK++ 8	Settler	4 Tahun	1,92
	ABR	4 Tahun	2,58
	AF	4 Tahun	2,72
MCK K 18	Settler	1 tahun	2,02
	ABR	6 bulan	1,46
	AF	6 Bulan	1,54

Tabel 9.
Jadwal Pengurasan Klaster 2

Fasilitas	Volume Lumpur (m ³)	Jumlah Ritasi
Settler	0,634	1
MCK K 29	ABR	2
	AF	2
Settler	2,952	3
MCK K 30	ABR	7
	AF	3

Volume Lumpur tersisa settler (Vset) = (1-80%) × Volume lumpur = 0,2 × 2,14 m³ = 0,43 m³

Volume lumpur ABR = 2,14 m³

% Pengurasan = 80%

Volume Lumpur dikuras = Vabr × % Pengurasan = 2,86 m³ × 80% = 2,29 m³

Volume Lumpur tersisa settler (Vset) = (1-80%) × Volume lumpur = 0,2 × 2,29m³ = 0,57 m³

Pengangkutan lumpur tinja menggunakan kendaraan motor tinja, sehingga penentuan ritasi menggunakan perhitungan didasarkan pada kapasitas motor tinja. Kapasitas motor tinja < 1m³ (dipasaran 800L). Ritasi maksimal harian didasarkan pada volume lumpur terbesar saat pengurasan. Volume lumpur yang dikuras pada ABR + AF MCK K 18 = 3,01 m³, volume yang di Ritasi sama dengan volume lumpur setelah reduksi / kapasitas motor tinja V_{rt} , yaitu bernilai 3,01 m³/ 0,8 m³

Berdasarkan perhitungan yang diatas maka dapat ditentukan waktu pengurasan didasarkan jumlah lumpur yang diproduksi dengan mempertimbangkan kapasitas ruang lumpur. Berikut adalah rencana jadwal pengurasan pada klaster 1 ditampilkan pada Tabel 8. Pada klaster 2 lumpur yang dihasilkan akan diteruskan atau diolah ke IPLT Keputih. Pengangkutan lumpur pada klaster ini menggunakan motor tinja kapasitas 800L. Jumlah ritasi yang akan digunakan berdasarkan kapasitas motor tinja dengan jumlah volume

lumpur yang akan dikuras. Berikut adalah perhitungan berdasarkan volume lumpur yang dikuras:

Diketahui:

Kapasitas motor tinja < 1 m³ (dipasaran 800L)

Volume lumpur yang dikuras pada MCK K 29 = 2,24 m³

Ritasi = Volume lumpur setelah reduksi / kapasitas motor tinja

$$= 2,24 / 0,8 \text{ m}^3$$

$$= 2,8 \sim 3 \text{ Kali}$$

Berdasarkan contoh perhitungan sebelumnya maka dapat ditentukan volume dan waktu pengurasan lumpur fasilitas MCK yang ditampilkan pada Tabel 9.

G. Unit Dewatering Skala Kecil

Dimensi dari unit *dewatering* direncanakan sesuai dengan volume lumpur terbesar yang dikuras pada fasilitas MCK yaitu pada ABR + AF MCK K 18 adalah 3,01 m³ sehingga perhitungannya:

$$Q = 3,01 \text{ m}^3$$

$$As = Q / \text{kedalaman lumpur} = (3,01 \text{ m}^3) / 0,4 \text{ m} = 7,53 \text{ m}^2$$

$$2L \times L = 7,53 \text{ m}^2$$

$$L^2 = 3,76 \text{ m}$$

$$L = 1,9 \text{ m} \sim 2 \text{ m}$$

$$P = 3,8 \text{ m} \sim 4 \text{ m}$$

$$As \text{ cek} = P \times L = 2 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 8 \text{ m}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

$$\text{Luas} = 4,3 \text{ m} \times 2,3 \text{ m} = 9,89 \text{ m}^2$$

1) Perhitungan Volume cake kering

$$Q \text{ lumpur} = 3,01 \text{ m}^3$$

Kadar solid awal = 12%

Kadar air awal = 88%

Kadar air akhir = 50 %

$$\text{Volume cake} = Q_{\text{lumpur}} \times (1 - \text{kadar air awal}) / (1 - \text{kadar air akhir})$$

$$= 3,01 \text{ m}^3 \times (1 - 88\%) / (1 - 50\%) = 0,75 \text{ m}^3 \text{ (selama 60 hari)}$$

2) Perencanaan bangunan penampung filtrat:

$$\text{Debit filtrat} = \text{Volume Lumpur} \times 50\% = 3,01 \text{ m}^3 \times 50\% = 1,505 \text{ m}^3$$

P bangunan filtrat = Lebar bak lumpur = 2 m

Rasio P: L = 2:1

Lebar = 2/2 = 1 m

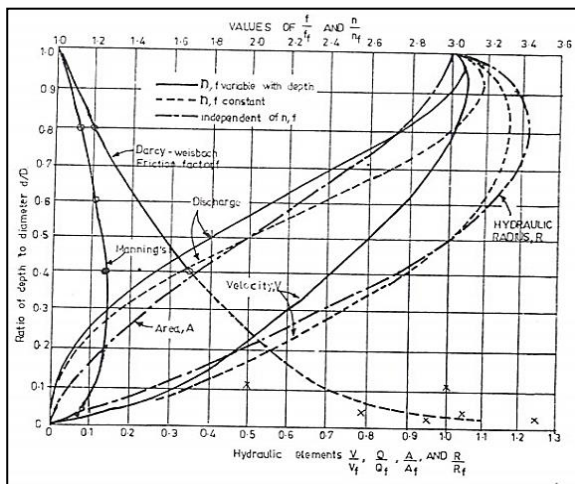
Luas = P × L = 2 m × 1 m = 2 m²

$$\text{Tinggi bak filtrat} = \text{Volume Filtrat} / \text{Luas Bangunan} = 1,505 \text{ m}^3 / 2 \text{ m}^2 = 0,75 \text{ m} \sim 0,8 \text{ m} = 0,8 \text{ m}$$

Tinggi total = 0,8 m + freeboard + tebal beton = 0,8 m + 0,10 m + 0,15 m = 1,05 m

3) Perencanaan pipa orifice:

Diameter pipa dalam = 110 mm- ketebalan



Gambar 3. Kurva Hidrolik Pipa Air Buangan.

$$= 110 - (3,2 \times 2) = 10,36 \text{ mm}$$

$$\% \text{Debit filtrat} = 6,42\%$$

$$\text{Volume filtrat} = 4,117 \text{ m}^3$$

$$Q \text{ peak} = 6,42\% \times \text{Volume filtrat} = 6,42\% \times 2,28 \text{ m}^3 = 0,146 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,002 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dikarenakan debit puncak yang diperoleh sangat kecil, maka diabaikan. Perhitungan menggunakan rasio d/D, 0,5 dengan kecepatan asumsi yang digunakan 0,3m/detik dapat dilihat pada Gambar 3..

$$\text{Rasio } d/D = 0,5$$

$$\text{Asumsi kecepatan} = 0,3 \text{ m/detik}$$

$$V \text{ min}/V \text{ full} = 1$$

$$V \text{ full} = V \text{ min} \times (V \text{ min}/V \text{ full}) = 0,3 \text{ m}^3/\text{detik} \times 1 = 0,3 \text{ m}^3$$

$$V \text{ full} = 1/n \times (D/4)^{0,67} S^{0,5}$$

$$0,3 \text{ m}^3 = (1/0,012) \times (D/4)^{0,67} \times S^{0,5}$$

$$0,3 \text{ m}^3 = (1/0,012) \times (0,103/4)^{0,67} \times S^{0,5}$$

$$0,204 = S$$

$$\text{Slope} = 0,204 \text{ m}$$

$$\text{Selisih tinggi} = \text{Slope} \times \text{panjang} = 0,204 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Slope baru} = \text{selisih tinggi} / \text{panjang} = 0,8 \text{ cm} / 400 \text{ cm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$V \text{ full} = 1/n \times (D/4)^{0,67} \times S^{0,5} = (1/0,012) \times (0,103/4)^{0,67} \times (2 \times 10^{-3})^{0,5} = 0,32 \text{ m/s (Memenuhi)}$$

Jumlah orifice direncanakan berdasarkan SNI 2011 dengan diameter antar lubang 0,5cm dan jarak antar lubang 3cm. Berikut adalah perhitungan jumlah orifice unit *dewatering*:

4) Perhitungan Jumlah Orifice:

$$\text{Luas selimut pipa} = \pi \times 2 \times r \times \text{Panjang pipa} = \pi \times 2 \times 5,18 \text{ cm} \times 400 \text{ cm} = 13012 \text{ cm}$$

5) Lubang horizontal

$$\text{Panjang pipa} = \text{diameter lubang} \times n + (\text{jarak lubang} \times (n + 1))$$

$$400 \text{ cm} = 0,5 \text{ cm} \times n + (3 \text{ cm} \times (n + 1)) = 3,5 n + 3 \text{ cm}$$

$$400 \text{ cm} - 3 \text{ cm} = 3,5 n$$

$$n = 113,4 \sim 114 \text{ buah}$$

6) Lubang vertikal

$$\text{Keliling } \frac{1}{2} \text{ lingkaran} = \text{diameter lubang} \times n + (\text{jarak lubang} \times (n + 1))$$

$$(5,18 \text{ cm} \times 3,14) = 0,5 \text{ cm} \times n + (3 \text{ cm} \times (n + 1))$$

$$16,265 \text{ cm} - 3 \text{ cm} = 3,5 n$$

$$n = 3,7 \approx 4 \text{ buah}$$

$$\text{Total lubang} = 4 \text{ buah} \times 114 \text{ buah} = 456 \text{ buah}$$

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan kajian pustaka didapatkan kriteria desain *dewatering* yaitu ketebalan media pasir pada rentang 15-35cm dengan diameter pasir berkisar 0,1-1,5mm, ketebalan media kerikil pada 10-15mm dengan diameter range 5-10mm. Ketebalan lumpur yang digunakan 20-40cm. Serta penambahan *geotextile non woven* ketebalan 4-6cm. Waktu pengeringan 4-42 hari dengan kadar air yang dihasilkan 37-70%.
- Alternatif yang digunakan adalah media kerikil ketebalan 15 cm dengan diameter 10-15mm, ketebalan media pasir 20cm dengan diameter 01-0,5mm, ketebalan lumpur 40cm dan penambahan *Geotextile non woven* 6cm, mampu meningkatkan kemampuan filtrasi pada media berupa kenaikan penyisihan pada TSS hingga 99,99%, TN 98%, ammonia 99,99%, BOD₅ 99,99%, TVS 99,99% dan Total Coliform 99,99%. Waktu pengeringan lumpur adalah 20 hari dengan kadar air berkisar 50%.
- Dimensi bak pengering P=4,3 m, L= 2,3 m tinggi 1,06 m dan bak penampung filtrat P= 2,3 m dan L=1,3 m. Dimensi komposter yang digunakan adalah P = 3,6 m dan L= 2 m.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. H. Bhakti, "Evaluasi kinerja IPAL - IPAL program SPBM-USRI tahun pembangunan 2012 - 2014 di Surabaya," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. C118-C123, Dec. 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.17974.

[2] A. Ashuri, E. Hastuti, and I. Medawati, "Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Komunal dan IPLT," Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman. Bandung, 2016.

[3] U. Heiness, S. A. Larmie, M. Strauss, and W. Csir, "Characteristics of Faecal Sludges and their Solids-Liquid Separation," Jeneiro: EAWAG/SANDEC. Zurich, pp. 1-14, 1999.

[4] S. Moertinah, "Kajian proses anaerobik sebagai alternatif teknologi pengolahan air limbah industri organik tinggi," *J. Ris. Teknol. Pencegah. dan Pencemaran Ind.*, vol. 1, no. 2, pp. 115-123, 2010.

[5] M. Bassan, P. Dodane, and L. Strande, *Faecal Sludge Management*. London: IWA Publishing., 2014.

[6] D. Maryani, D. Maryani, A. Masduqi, and A. Moesriati, "Pengaruh ketebalan media dan rate filtrasi pada sand filter dalam menurunkan kekeruhan dan total coliform," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 2, pp. D76-D81, 2014.

[7] C. Yaman, J. P. Martin, and E. Korkut, "Use of layered geotextiles to provide a substrate for biomass development in treatment of septic tank effluent prior to ground infiltration," *J. Environ. Eng.*, vol. 131, no. 12, pp. 1667-1675, Dec. 2005, doi: 10.1061/(asce)0733-9372(2005)131:12(1667).

[8] H. U. Revathi and S. Murthy, "Treatment of domestic wastewater using geotextile as a filter media," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 3, p. 7, 2016.

[9] Y. Kusumawardani, D. W. Astuti, J. Banjarsari, B. No, and P. B.

- Semarang, "Efektivitas penambahan media geotekstil pada saringan pasir lambat terhadap penyisihan parameter kekeruhan jumlah coli dan cod," *J. Tekno Sains*, vol. 8, pp. 114–121, 2018, doi: 10.22146/teknosains.31917.
- [10] W. Tamakloe, "Characterization of Faecal Sludge and Analysis of its Lipid Content for Biodiesel Production." Thesis. Kwame Nkrumah University of Science and Technology. Kumasi. 2014.
- [11] D. Koné and M. Strauss, "Low-Cost Options for Treating Faecal Sludges (FS) in Developing Countries—Challenges and Performance," in *9th International IWA Specialist Group Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control and to the 6th International IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilisation Ponds, Avignon, France*, 2004, vol. 27.
- [12] S. Semiyaga, M. A. E. Okure, C. B. Niwagaba, A. Y. Katukiza, and F. Kansime, "Decentralized options for faecal sludge management in urban slum areas of Sub-Saharan Africa: A review of technologies, practices and end-uses," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 104, pp. 109–119, 2015.
- [13] I. Ahmed, D. Ofori-Amanfo, E. Awuah, and F. Cobbold, "A comprehensive study on the physicochemical characteristics of faecal sludge in greater accra region and analysis of its potential use as feedstock for green energy," *J. Renew. Energy*, vol. 2019, 2019.
- [14] A. Y. Katukiza, M. Ronteltap, C. B. Niwagaba, J. W. A. Foppen, F. Kansime, and P. N. L. Lens, "Sustainable sanitation technology options for urban slums," *Biotechnol. Adv.*, vol. 30, no. 5, pp. 964–978, 2012.
- [15] B. J. Ward, J. Traber, A. Gueye, B. Diop, E. Morgenroth, and L. Strande, "Evaluation of conceptual model and predictors of faecal sludge dewatering performance in Senegal and Tanzania," *Water Res.*, vol. 167, p. 115101, 2019.
- [16] A. A. Agboado, "Faecal Sludge Anagement in The Ho Municipality", Thesis. Kwame Nkrumah University of Science and Technology. Kumasi. 2015.
- [17] H. Hidayat, A. Sasmita, and M. Reza, "Perencanaan pembangunan instalasi pengolahan lumpur tinja (IPLT) di Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru," *Jom FTEKNIK*, vol. 4, p. 1, 2017.
- [18] S. Singh, R. R. Mohan, S. Rathi, and N. J. Raju, "Technology options for faecal sludge management in developing countries: Benefits and revenue from reuse," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 7, pp. 203–218, 2017.
- [19] A. Panuvatvanich, T. Koottatep, and D. Kone, "Influence of sand layer depth and percolate impounding regime on nitrogen transformation in vertical-flow constructed wetlands treating faecal sludge," *Water Res.*, vol. 43, no. 10, pp. 2623–2630, 2009.
- [20] M. Manga, B. E. Evans, M. A. Camargo-Valero, and N. J. Horan, "Effect of filter media thickness on the performance of sand drying beds used for faecal sludge management," *Water Sci. Technol.*, vol. 74, no. 200412, pp. 2795–2806, 2016.
- [21] A. R. Kuffour, E. Awuah, F. O. K. Anyemedu, M. Strauss, D. Koné, and O. Cofie, "Effect of using different particle sizes of sand as filter media for dewatering faecal sludge," *Desalination*, vol. 248, no. 1–3, pp. 308–314, 2009.
- [22] A. R. Kuffour, E. Awuah, D. Sarpong, F. O. K. Anyemedu, and D. Koné, "Effects of different solid loading rates of faecal sludge on the dewatering performance of unplanted filter bed," *Civ. Environ. Res.*, vol. 3, no. 4, pp. 39–48, 2013.
- [23] O. O. Cofie *et al.*, "Solid–liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: implications for nutrient recycling in urban agriculture," *Water Res.*, vol. 40, no. 1, pp. 75–82, 2006.
- [24] D. Wulandari, "Pemisahan Padatan Lumpur Tinja Pada Unit Solid Separation Chamber (SSC)." Tugas Akhir. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 2018.
- [25] A. A. D. Hendrayani, N. N. Fitriani, and W. W. Hadi, "Pengaruh ketebalan media geotekstil dan arah aliran terhadap penyisihan kekeruhan dan total coli pada slow sand filter rangkaian eri," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 1, pp. D21–D25, 2014.
- [26] P. R. Dini, N. Fitriani, and W. Hadi, "Pengaruh Penambahan Geotekstil pada Unit Slow Sand Filter Untuk Mengolah Air Siap Minum," dalam *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVIII Program Studi MMT-ITS*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 2013.
- [27] A. A. Ayuningtyas, N. N. Fitriani, and W. W. Hadi, "Pengaruh ketebalan media geotextile dan arah aliran slow sand filter rangkaian seri untuk menyisihkan P total dan N total," *J. Tek. ITS*, vol. 3, no. 1, pp. D26–D29, 2014.