

Perencanaan Pengurasan dan Pengeringan Lumpur Skala Kecil IPALD-T Kabupaten Gresik

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

Abstrak—Lumpur merupakan produk samping dari pengolahan air limbah yang memiliki karakteristik berbahaya terhadap lingkungan karena mengandung mikroorganisme patogen serta konsentrasi polutannya yang sangat tinggi. Beberapa IPAL di Kabupaten Gresik mengalami penurunan kualitas efluen yang disebabkan oleh terhambatnya pengurasan endapan lumpur di dalam unit pengolahan. Penyebab terhambatnya pengurasan lumpur adalah keterbatasan akses menuju IPAL. Tujuan dari perencanaan ini adalah merencanakan metode pengurasan dan pengangkutan lumpur skala kecil, merencanakan unit pengolahan lumpur skala kecil, serta merencanakan anggaran biaya yang dibutuhkan dalam pengelolaan lumpur skala kecil. Dalam penelitian ini, penentuan IPALD-T yang pengurasan lumpurnya terhambat direncanakan berdasarkan identifikasi kemampuan akses sarana pengangkut lumpur ke unit pengolahan lumpur. Periode pengurasan direncanakan berdasarkan produksi lumpur pada masing-masing bak dan membandingkannya dengan kapasitas kompartemen settler dan pengolahan biologis. Sarana pengurasan direncanakan berdasarkan lebar jalan dan lama pengurasan direncanakan berdasarkan kapasitas sarana pengurasan. Unit dewatering direncanakan berdasarkan ketersediaan lahan, efisiensi biaya, dan kemudahan dalam operasional. Periode pengurasan IPAL klaster 1 dilakukan 3 tahun sekali dengan menggunakan truk tinja. Sedangkan untuk klaster 2 dan 3 masing-masing dilakukan 1 dan 2 tahun sekali. Sarana pengurasan yang digunakan adalah kombinasi antara motor tinja dan kedoteng. Perencanaan unit dewatering skala kecil menghasilkan 2 unit bak pengering lumpur dan 3 unit tandon pengering lumpur, masing-masing dengan kapasitas total 2,88 m³ dan 1,9 m³. Total biaya yang dibutuhkan untuk pembangunannya masing-masing adalah Rp 30.508.500,- dan Rp 16.114.500,-.

Kata Kunci—Dewatering Skala Kecil, Lumpur IPAL, Pengangkutan Lumpur, Pengeringan Lumpur, Pengurasan Lumpur.

I. PENDAHULUAN

LUMPUR adalah produk samping dari proses pengolahan air limbah. Lumpur memiliki karakteristik yaitu mengandung mikroorganisme patogen dan konsentrasi polutan yang sangat tinggi [1]. Kabupaten Gresik memiliki IPAL sebanyak 134 unit, dan beberapa diantaranya mengalami penurunan kualitas efluen dikarenakan penumpukan lumpur di dalam unit pengolahan. Pengurasan lumpur terhambat karena adanya keterbatasan akses menuju IPAL. Sarana pengurasan lumpur yang tersedia di Kabupaten Gresik adalah 2 unit truk tinja dengan kapasitas 3 m³ dan 4 m³. Namun, truk tidak dapat mengakses jalan dengan lebar < 2 m.

Pemilihan sarana pengurasan lumpur merupakan aspek penting yang harus diperhatikan. Terdapat beberapa sarana pengurasan untuk area sempit yaitu motor roda 3, vacutug, dan kedoteng [2]. Namun kendaraan tersebut lebih efektif apabila radius pelayanannya berdekatan. Hal ini dikarenakan kapasitas tangki pada kendaraan terbatas. Sementara itu, IPLT Kabupaten Gresik terletak sangat jauh dari IPAL dengan jarak rata-rata 15 km. Di saat yang bersamaan, terdapat sisa lahan kosong di sebelah IPAL. Berdasarkan hasil wawancara, terdapat ketersediaan jasa dari KPP yang ingin mengelola lumpur IPAL. Oleh karena itu, dengan adanya ketersediaan jasa dari pihak pengelola IPAL dan lahan kecil, maka direncanakan unit dewatering skala kecil di Kabupaten Gresik.

Biaya operasional dalam pengurasan dan pengangkutan lumpur Kabupaten Gresik cukup tinggi dikarenakan jarak antara IPAL ke IPLT yang sangat jauh. Oleh karena itu, diperlukan adanya unit pengolahan lumpur skala kecil dengan sistem setempat yang bertujuan untuk menghemat biaya operasional pengurasan lumpur. Disamping itu, hal ini dapat membantu mengurangi beban tenaga dinas Kabupaten Gresik dalam melakukan pengurasan IPAL dengan akses terbatas. Unit pengolahan lumpur skala kecil dapat dikelola oleh KPP dan masyarakat. Selain itu, karena kapasitas unit pengolahan yang direncanakan kecil namun tetap dapat mengolah lumpur hingga stabil dan aman untuk dibuang ke lingkungan, maka hal ini juga dapat menekan biaya yang dikeluarkan.

II. METODE PERENCANAAN

A. Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan dalam perencanaan ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Uraian data dari masing-masing jenis data adalah sebagai berikut:

1) Data Primer

- a. Metode Survei Lapangan tentang Pengurasan Lumpur. Data yang perlu diambil pada saat melakukan survei adalah lebar jalan, koordinat lokasi dari 8 IPAL. Metode ini dilakukan untuk mengetahui dan menentukan jenis alat angkut yang direncanakan untuk akses sempit.
- b. Metode Survei Lapangan tentang Pemeliharaan IPAL. Metode ini dilakukan dengan mengunjungi 8 IPAL terpilih dan melihat langsung keadaan terkini IPAL yang akan diteliti.
- c. Metode Sampling Perhitungan Lumpur. IPAL yang terpilih yaitu 3 IPAL yang merupakan perwakilan dari

Tabel 1.
Jenis IPAL dan lebar jalan

Klaster	Nama IPAL	Jenis IPAL	Lebar Jalan (m)
Klaster 1	Karangmas	JSI	3
	Kauman Sehat	Mode	3,5
	Tirta Agung 2	Sanfab	2,8
Klaster 2	Grand Cep	JSI	2
	Sehat Sentosa	Mode	2
	Telaga Abadi	Sanfab	2
Klaster 3	Higienis 2	JSI	1,3
	Makmur Jaya	Sanfab	1,2

Tabel 2.
Debit influen air limbah

Nama IPAL	Sambungan Rumah (SR)	Debit Puncak (L/s)
Karangmas	77	0,232
Kauman Sehat	47	0,142
Tirta Agung 2	25	0,075
Grand Cep	25	0,075
Sehat Sentosa	51	0,154
Telaga Abadi	53	0,160
Higienis 2	39	0,118
Makmur Jaya	50	0,151

Tabel 3.
Kualitas air limbah

Nama IPAL	TSS (mg/L)		COD (mg/L)		BOD (mg/L)	
	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet	Inlet	Outlet
Karangmas*	108	66**	181	54	96	28
Kauman Sehat	108	66**	181	54	96	28
Tirta Agung 2	108	66**	181	54	96	28
Grand Cep	108	66**	181	54	96	28
Sehat Sentosa	108	66**	181	54	96	28
Telaga Abadi*	172	124**	332	200**	178	106**
Higienis 2	108	66**	181	54	96	28
Makmur Jaya*	322	30	483	84	262	44**

*Hasil analisis laboratorium

**Tidak memenuhi baku mutu PermenLHK No 68 Tahun 2016

setiap klaster yaitu jumlah SR terpasang yang paling banyak, IPAL yang belum pernah dikuras dari awal pembangunan dan IPAL yang paling jauh dari jalan utama. Objek yang diambil untuk dilakukan analisis lebih lanjut adalah kualitas air limbah dengan parameter TSS, BOD, dan COD.

d. Kuisiner. Parameter untuk mengetahui kondisi dan upaya pemeliharaan eksisting adalah tahun pembangunan, jenis IPAL, permasalahan IPAL, upaya pemeliharaan yang pernah dilakukan, iuran masyarakat dan alokasinya, peran serta masyarakat, kendala dan upaya yang pernah dilakukan.

2) Data Sekunder

Data sekunder berupa peta wilayah studi Kabupaten Gresik, lokasi IPAL beserta jumlahnya, dimensi IPAL, lokasi IPAL dengan keterbatasan akses, lokasi IPLT, efisiensi penyisihan settler dan ABR, karakteristik lumpur dan efisiensi unit dewatering. Data sekunder dapat diperoleh dari Kantor Kabupaten Gresik, Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang (DPUUR) Kabupaten Gresik serta literatur.

B. Analisis Data dan Pembahasan

Terdapat dua aspek yang dibahas dalam perencanaan ini,

Tabel 4.
Kapasitas settler dan bak pengolahan biologis

IPAL	Kapasitas SR	Settler			ABR/ABF		
		P (m)	L (m)	H (m)	P (m)	L (m)	H (m)
Karangmas*	100	3,5	2,7	2	6,4	2,7	2
Kauman Sehat**	75	1,9	1,7	1,8	5,6	1,7	1,8
Tirta Agung 2*	50	1,75	2,25	1,8	4,8	2,25	1,8
Grand Cep**	75	2,5	2,2	1,44	4,9	2,2	1,44
Sehat Sentosa**	75	1,9	1,7	1,8	5,6	1,7	1,8
Telaga Abadi*	75	2,5	2,25	1,8	4,8	2,25	1,8
Higienis 2**	75	2,5	2,2	1,44	4,9	2,2	1,44
Makmur Jaya*	75	2,5	2,25	1,8	4,8	2,25	1,8

*DPUUR, 2019

**Mulia, 2015

Tabel 5.
Kapasitas lumpur IPAL

Nama IPAL	Kapasitas Lumpur (m ³)	
	Settler	ABR/ABF
Karangmas	13,23	17,28
Kauman Sehat	4,07	8,568
Tirta Agung 2	4,961	9,72
Grand Cep	5,544	7,762
Sehat Sentosa	4,07	8,568
Telaga Abadi	7,088	9,72
Higienis 2	5,544	7,762
Makmur Jaya	7,088	9,72

Tabel 6.
Penyisihan pada settler

Nama IPAL	Penyisihan TSS (%)	Penyisihan BOD (%)	Penyisihan COD (%)
	Karangmas Kauman Sehat Tirta Agung 2 Grand Cep Sehat Sentosa Higienis 2 Telaga Abadi Makmur Jaya	48,09	27,83

yaitu aspek teknis dan finansial. Aspek teknis membahas perencanaan teknis pengurusan, pengangkutan dan unit dewatering skala kecil sedangkan aspek finansial berupa perhitungan BOQ dan RAB.

1) Produksi Lumpur

Perhitungan dimulai dari menghitung massa VSS (volatile suspended solids), massa TSS, massa dan volume lumpur total per satuan waktu.

2) Pengurusan Lumpur

Periode pengurusan lumpur direncanakan berdasarkan apabila produksi lumpur telah mendekati kapasitas ruang lumpur settler maupun ABR, maka lumpur direncanakan segera dikuras. Sarana pengurusan direncanakan berdasarkan lebar jalan yang dibagi ke dalam 3 klaster. Klaster 1 untuk IPAL yang dapat diakses dengan truk. Klaster 2 untuk IPAL yang tidak dapat diakses truk. Klaster 3 untuk IPAL yang tidak dapat diakses motor. Waktu pengurusan direncanakan berdasarkan kapasitas sarana pengurusan lumpur.

3) Pengangkutan Lumpur

Sarana pengangkutan lumpur direncanakan berdasarkan lebar jalan dengan rute tersingkat serta kondisi lalu lintas.

Tabel 7.
Penyisihan pada bak pengolahan biologis

Nama IPAL	Unit Biologis	Penyisihan TSS (%)	Penyisihan BOD (%)	Penyisihan COD (%)
Karangmas Tirta Agung 2 Grand Cep Telaga Abadi Higienis 2 Makmur Jaya Kauman Sehat Sehat Sentosa	ABR	80,46	82,47	80,46
	ABF	86,70	92,34	90,09

Tabel 8.
Debit lumpur pada settler

Nama IPAL	Debit Lumpur	
	m3/hari	m3/tahun
Karangmas	0,008	3,010
Kauman Sehat	0,005	1,838
Tirta Agung 2	0,003	0,977
Grand Cep	0,003	0,977
Sehat Sentosa	0,005	1,994
Telaga Abadi	0,008	2,787
Higienis 2	0,004	1,525
Makmur Jaya	0,018	6,455

Tabel 9.
Debit lumpur pada bak pengolahan biologis

Nama IPAL	Debit Lumpur	
	m3/hari	m3/tahun
Karangmas	0,007	2,725
Kauman Sehat	0,005	1,797
Tirta Agung 2	0,002	0,885
Grand Cep	0,002	0,885
Sehat Sentosa	0,005	1,950
Telaga Abadi	0,009	3,440
Higienis 2	0,004	1,380
Makmur Jaya	0,013	4,721

4) *Pengolahan Lumpur Skala Kecil*

Unit pengolahan lumpur skala kecil direncanakan menggunakan prinsip pengolahan yang sama seperti unit *sludge drying bed* karena sudah mencakup proses stabilisasi dan pengeringan lumpur. Unit dewatering skala kecil direncanakan berdasarkan kemudahan dalam operasional, ketersediaan lahan dan efisiensi biaya.

5) *Pembiayaan Pengelolaan Lumpur Skala Kecil*

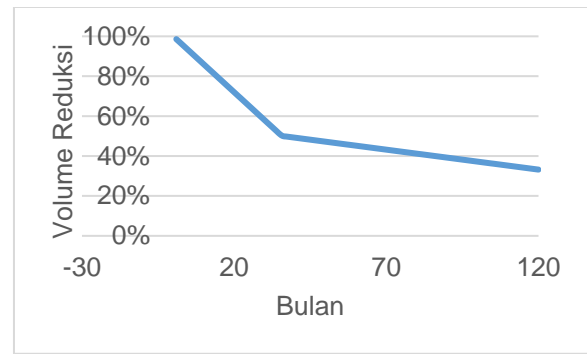
Perhitungan biaya direncanakan berdasarkan BOQ dan HSPK Kota Surabaya tahun 2018.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. *Kondisi Eksisting IPAL Kabupaten Gresik*

Jenis IPALD-T terbangun di Kabupaten Gresik adalah JSI, Mode, dan Sanfab [3]. Berdasarkan survei pendahuluan, pemeliharaan beberapa IPAL di Kabupaten Gresik tidak berjalan sebagaimana harusnya. Penyebabnya adalah akses yang sempit. Lebar jalan dibagi ke dalam klaster berdasarkan kemampuan akses sarana angkut lumpur. Jenis IPAL dan lebar jalan dapat dilihat pada Tabel 1.

JSI menggunakan teknologi AFBR yang mirip dengan ABR. Mode menggunakan ABF, sedangkan sanfab menggunakan ABR. Meskipun beberapa IPAL di Kabupaten Gresik ada yang belum dikuras, tetapi terdapat IPAL yang



Gambar 1. Grafik presentase volume lumpur.

Tabel 10.
Pengurasan klaster 1

Nama IPAL	Kebutuhan Ritasi	Periode Pengurasan	Kapasitas Alat Angkut Digunakan
Karangmas Settler	1 rit	4 tahun	Truk 4 m ³ dan 3 m ³
Karangmas ABR	1 rit	5 tahun	Truk 4 m ³ dan 3 m ³
Kauman Settler	1 rit	3 tahun	Truk 3 m ³
Sehat ABF	1 rit	4 tahun	Truk 4 m ³
Tirta Settler	1 rit	5 tahun	Truk 3 m ³
Agung 2 ABR	1 rit	6 tahun	Truk 3 m ³

Tabel 11.
Pengurasan klaster 2

Nama IPAL	Periode Pengurasan (tahun)	Waktu Pengurasan (hari)	Unit Dewatering
Telaga Abadi Settler	2	2	Bak Tandon
Telaga Abadi ABR	3	2	Bak Tandon
Sehat Sentosa Settler	3	2	Bak Tandon
Sehat Sentosa ABR	4	2	Bak Tandon
Grand Cep Settler	5	1	Tandon
Grand Cep ABR	6	1	Tandon

sudah pernah dikuras namun hanya dilakukan sebanyak 1 (satu) kali saja sejak awal pembangunan seperti IPAL Karangmas, Kauman Sehat, Sehat Sentosa dan Higienis 2.

Lumpur IPAL Karangmas dan IPAL Kauman Sehat dapat dengan mudah dikuras oleh truk karena jalan yang dimiliki cukup, sedangkan IPAL Sehat Sentosa dan IPAL Higienis 2, truk harus memperpanjang selang hingga mencapai 200 m dimana hal ini tidak sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Pengelolaan Air Limbah Domestik [4].

B. *Produksi Lumpur*

Debit puncak salah satu IPAL Kabupaten Gresik dengan SR 68 berdasarkan literatur adalah 0,205 L/s. Dengan menggunakan perbandingan SR maka dapat diperoleh debit semua IPAL. Debit influen air limbah dapat dilihat pada Tabel 2.

Selain debit, kualitas air limbah merupakan faktor penentu produksi lumpur. Kualitas air limbah yang dibutuhkan untuk perhitungan produksi lumpur adalah kualitas influen air limbah. Kualitas IPAL lain mengikuti kriteria teknis 3 IPAL yang sudah disampling dengan kriteria jenis IPAL, tahun

Tabel 12.
Pengurasan klaster 3

Nama IPAL	Periode Pengurasan (tahun)	Waktu Pengurasan (hari)	Kebutuhan Ritasi		
			Kendaraan	Unit Dewatering	
Makmur Jaya	Settler	2	3	Kedoteng (4 ritasi)	Tandon
				Kedoteng (4 ritasi)	Bak
	ABR	3	3	Kedoteng (2 ritasi)	Bak
				Kedoteng (4 ritasi)	Tandon
Higienis 2	Settler	4	2	Kedoteng (3 ritasi)	Bak
				Kedoteng (4 ritasi)	Tandon
	ABR	5	2	Kedoteng (2 ritasi)	Bak
				Kedoteng (4 ritasi)	Tandon
				Kedoteng (2 ritasi)	Bak

pembangunan, serta teknik pengurasan yang sama. Kualitas air limbah dapat dilihat pada Tabel 3.

Kapasitas IPAL Kabupaten Gresik dibedakan berdasarkan kapasitas SR [5], dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan kapasitas IPAL, selanjutnya dapat diperoleh kapasitas lumpur pada IPAL seperti pada Tabel 5. Kapasitas lumpur settler adalah 70% dari kapasitas settler, sedangkan kapasitas lumpur bak pengolahan biologis adalah 50% dari kapasitas bak [6].

Produksi lumpur yang dihasilkan pada *settler* berbeda dengan bak pengolahan biologis sesuai dengan efisiensi penyisihannya. Efisiensi *removal* di bak pengendap (*settler*) adalah sebagai berikut:

- a. % *removal* COD = 26,25%
- b. % *removal* BOD = 27,83% [7]

Sedangkan *removal* TSS menggunakan nilai rasio SS/COD yaitu 0,42 [8]. Sedangkan perhitungan *removal* untuk ABF adalah sebagai berikut.

- a. Suhu = 30°C
- b. Faktor suhu = 1,1
- c. Kompartemen = 8 buah
- d. HRT = 36 jam
- e. Faktor HRT = 0,704
- f. Faktor media filter = 1
- g. Faktor air limbah = $(\frac{COD_{in} \times 0,17}{2000}) + 0,87$
= $(\frac{133,49 \times 0,17}{2000}) + 0,87$
= 0,881
- h. % R COD = (faktor suhu × faktor HRT × faktor air limbah × faktor media filter) + (faktor media filter + (kompartemen × 0,04))
= 90,09%
- i. Faktor COD/BOD = 1,025
- j. % R BOD = faktor $\frac{COD}{BOD} \times$ % R COD
= 92,34%
- k. % R TSS = 86,7% [9].

Penyisihan pada *settler* dan penyisihan pada bak pengolahan biologis berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Berdasarkan efisiensinya masing-masing, maka dihitung produksi lumpur pada *settler* dan pengolahan biologis dengan contoh sebagai berikut

- a. Debit = 0,232 L/s
= 20.056,235 L/hari
- b. [TSS]in = 108 mg/L
- c. [TSS]out = 56,06 mg/L

- d. [COD]in = 181 mg/L
- e. [COD]out = 133,49 mg/L
- f. SRT = 14 hari
- g. Y anaerobik = 0,06 g VSS/g COD
- h. kd = 0,1 g VSS/g VSS.hari [10].

Sehingga diperoleh :

1. $P_x \text{ VSS} = \frac{Q \times Y \times (S_o - S)}{1 + k_d \times \text{SRT}}$
= $\frac{20.056,235 \frac{L}{\text{hari}} \times 0,06 \times (181 - 133,49) \frac{mg}{L}}{1 + \frac{0,1}{\text{hari}} \times 14 \text{ hari}}$
= 0,024 kg/hari
2. $P_x \text{ TSS} = Q \times ([\text{TSS}]_{in} - [\text{TSS}]_{out})$
= $20.056,235 \frac{L}{\text{hari}} \times (108 - 56,06) \frac{mg}{L}$
= 1,042 kg/hari
3. $P_x \text{ total} = \frac{P_x \text{ VSS}}{0,85} + P_x \text{ TSS}$
= $\frac{0,024 \text{ kg/hari}}{0,85} + 1,042 \text{ kg/hari}$
= 1,070 kg/hari

Sehingga diperoleh massa lumpur untuk semua IPAL. Setelah memperoleh massa, maka dapat dihitung volume lumpur per satuan waktu.

- a. $S_g \text{ solid} = 2,65$
- b. % *solid* = 12% [11]
- c. Densitas air = 1000 kg/m³

Sehingga diperoleh:

1. $1/sg \text{ lumpur} = \frac{\% \text{solid}}{sg \text{ solid}} + \frac{\% \text{air}}{sg \text{ air}}$
= $\frac{12\%}{2,65} + \frac{88\%}{1}$
= 0,925
2. $S_g \text{ lumpur} = 1/0,925$
= 1,081
3. $Q \text{ lumpur} = \frac{P_x \text{ total}}{sg \text{ lumpur} \times p \text{ air} \times \% \text{ solid}}$
= $\frac{1,070 \text{ kg/hari}}{1,081 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 12\%}$
= 0,008 m³/hari
= 3,010 m³/tahun

Debit lumpur pada *settler* dan debit lumpur pada bak pengolahan biologis berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

C. Pengurasan dan Pengangkutan Lumpur

Pengurasan lumpur di *settler* dan pengolahan biologis mengalami reduksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Lumpur yang telah mengalami reduksi pada *settler* dan

ABF/ABF dibandingkan dengan kapasitas lumpur settler dan ABR/ABF seperti yang tertera pada Tabel 5. Oleh karena itu, pengurasan lumpur IPAL ideal masing-masing klaster adalah sebagai berikut.

1) *Klaster 1*

Sarana pengurasan yang digunakan adalah truk tinja dengan kapasitas 3 m³ dan 4 m³. Pengurasan klaster 1 dapat dilihat pada Tabel 10.

2) *Klaster 2*

Sarana pengurasan yang digunakan adalah kombinasi antara motor tinja dan kedoteng. Pengurasan lumpur IPAL klaster 2 berlangsung selama 2 – 3 hari. Sarana pengurasan yang direncanakan adalah motor roda 3 merk Nozomi dengan kapasitas tangki 800 L. Sedangkan kedoteng yang digunakan adalah modifikasi gerobak dengan tangki yang memiliki kapasitas 600 L. Pengurasan klaster 1 dapat dilihat pada Tabel 11.

3) *Klaster 3*

Sarana pengurasan yang digunakan adalah kedoteng dan motor tinja. Pengurasan berlangsung selama 2 – 3 hari dikarenakan kapasitas tangki kendaraan terbatas. Pengurasan klaster 1 dapat dilihat pada Tabel 12.

D. *Unit Dewatering Skala Kecil*

Lumpur IPAL klaster 2 dan 3 yang telah dikuras diolah di unit *dewatering*. Unit *dewatering* skala kecil yang direncanakan terbagi menjadi 2 alternatif yaitu bak yang berukuran kecil dan tandon yang difungsikan sebagai wadah pengering lumpur skala kecil. Kedua unit *dewatering* memiliki prinsip pengolahan yang sama seperti *sludge drying bed*. Untuk memperoleh kualitas *cake* yang dapat digunakan sebagai campuran bahan pengomposan membutuhkan waktu pengeringan selama 6 minggu, dimana setelah waktu tersebut kandungan air di *cake* adalah 50% [12]. *Cake* yang telah mencapai kadar air 50% tersebut direkomendasikan untuk digunakan sebagai campuran bahan pengomposan. Proses pengeringan lumpur yang berlangsung di bak dan tandon bergantung pada iklim dan suhu. Oleh karena itu ketika hujan, bak maupun tandon pengering dapat ditutup dengan menggunakan terpal agar tidak mengganggu dan menghambat masa pengeringan.

E. *Bak Pengering Lumpur Skala Kecil*

Lahan untuk bak pengering lumpur skala kecil direncanakan bersebelahan dengan IPAL Telaga Abadi. Luas lahan yang tersedia adalah 54 m². Direncanakan:

- a. Kedalaman kerikil = 30 cm
- b. Kedalaman pasir = 30 cm
- c. Kedalaman lumpur = 40 cm
- d. *Freeboard* = 15 cm
- e. Panjang = 3 m
- f. Lebar = 1,2 m

Oleh karena itu, volume lumpur yang dapat ditampung pada bak pengering lumpur skala kecil adalah sebanyak = p × l × h lumpur = 3 m × 1,2 m × 0,4 m = 1,44 m³. Direncanakan 2 unit bak pengering lumpur sehingga total kapasitas lumpur di bak pengering = 2 1,44 m³ = 2,88 m³.

1) *Volume Filtrat*

- a. Volume lumpur yang masuk = 1,44 m³
- b. % solid lumpur awal = 12%

- c. % air *cake* matang = 50%
- d. % solid *cake* matang = 50%
- e. Sg lumpur = 1,081
- f. Sg *cake* matang

$$1/sg\ cake = \frac{\%solid}{sg\ solid} + \frac{\%air}{sg\ air}$$

$$= \frac{50\%}{1,081} + \frac{50\%}{1}$$

$$Sg\ cake = 1,039$$

- g. Densitas *cake* = sg *cake* × densitas air
= 1,039 × 1000 kg/m³
= 1039 kg/m³
- h. Volume *cake* = $\frac{\text{volume lumpur awal} \times \% \text{ solid lumpur awal}}{\% \text{ solid } \textit{cake} \text{ matang}}$
= $\frac{1,44\ m^3 \times 12\%}{50\%}$
= 0,35 m³
- i. Massa *cake* = volume *cake* × densitas *cake*
= 0,35 m³ × 1039 kg/m³
= 359,01 kg
- j. Volume filtrat = vol. lumpur awal – volume *cake* matang
= 1,44 m³ – 0,35 m³
= 1,094 m³

2) *Slope Pipa Underdrain*

- a. Volume filtrat = 1,094 m³
- b. % filtrat saat puncak = 6,84%/jam
- c. Debit filtrat saat puncak = volume % filtrat saat puncak
= 1,094 m³ × 6,84%/jam
= 0,075 m³/jam
= 0,0000208 m³/detik
- d. % filtrat saat minimum = 0,029%/jam
- e. Debit filtrat saat minimum = vol. filtrat × % filtrat saat min.
= 1,094 m³ × 0,029%/jam
= 0,0003 m³/jam
= 0,0000001 m³/detik
- f. n PVC = 0,012
- g. d/D = 0,05

Dengan menggunakan grafik *Hydraulics Elements for Circular Sewers*, dapat diperoleh nilai Qpeak/Qfull sebesar 0,47.

- a. Qfull = $\frac{Qpeak}{\frac{Qpeak}{Qfull}}$
= $\frac{0,0000208\ m^3/detik}{0,47}$
= 0,00004 m³/detik

- b. Diameter pipa = 89 mm
- c. Tebal dinding = 1,6 mm
- d. Diameter dalam = 89 mm – (2 × 1,6 mm)
= 85,8 mm
- e. Kecepatan = 0,3 m/detik

Berdasarkan kriteria kecepatan aliran filtrat yang direncanakan, maka dapat dihitung slope yang digunakan untuk pipa underdrain.

- a. Slope^{1/2} = $\frac{V}{\left(\frac{1}{n}\right) \times \left(\frac{D}{4}\right)^{0,67}}$
= $\frac{0,3\ m/detik}{\left(\frac{1}{0,012}\right) \times \left(\frac{0,0858}{4}\right)^{0,67}}$

- b. Slope = 0,0022
- c. Vmin/Vfull = 1
- d. V min = V full
= 0,3 m/detik

3) Jumlah Orifice

Panjang pipa underdrain = panjang bak= 3 m. Tata cara perencanaan pengolahan lumpur dengan bak pengering lumpur, diameter orifice harus < 15 mm [13]. Oleh karena itu, diameter orifice yang direncanakan adalah 7 mm.

- a. Diameter orifice = 7 mm
= 0,7 cm
- b. Diameter pipa = 8,9 cm
- c. r pipa = 4,45 cm
- d. Jarak antar orifice = 2 cm
- e. Keliling 1/2 lingkaran = $\frac{1}{2} \times \pi \times 2 \times r$
= $\frac{1}{2} \times \frac{22}{7} \times 2 \times 4,45$
= 13,99 cm
- f. Jumlah orifice horizontal:
Panjang pipa = D orifice × n + (jarak orifice × (n + 1))
300 cm = 0,7 cm × n + (2 cm × (n + 1))
300 cm = 0,7 cm × n + 2 cm × n + 2 cm
298 cm = 2,7 cm × n
n = $\frac{298 \text{ cm}}{2,7 \text{ cm}}$
n = 110 buah

g. Jumlah orifice vertikal:

- Keliling 1/2 lingk. = D orifice × n + (jarak orifice × (n + 1))
- 13,99 cm = 0,7 cm × n + (2 cm × (n + 1))
- 13,99 cm = 0,7 cm × n + 2 cm × n + 2 cm
- 11,99 cm = 2,7 cm × n
- n = $\frac{11,99 \text{ cm}}{2,7 \text{ cm}}$
- n = 4 buah

4) Wadah Penampung Filtrat

Direncanakan:

- a. Panjang = 1,8 m
- b. Lebar = 0,8 m
- c. Kedalaman = $\frac{\text{volume filtrat}}{\text{luas permukaan}}$
= $\frac{1,094 \text{ m}^3}{(1,8 \times 0,8) \text{ m}^2}$
= 0,76 m

Untuk freeboard direncanakan 10 cm, sehingga total kedalaman untuk wadah penampung filtrat adalah 0,86 m.

F. Tandon Pengering Lumpur Skala Kecil

Tandon pengering lumpur direncanakan bersebelahan dengan IPAL Sehat Sentosa dan IPAL Grand Cep. Luas lahan yang tersedia adalah 35 m². Berikut merupakan perhitungan perencanaan tandon pengering lumpur. Direncanakan:

- a. Kedalaman kerikil = 30 cm
- b. Kedalaman pasir = 30 cm
- c. Kedalaman lumpur = 40 cm
- d. Freeboard = 15 cm
- e. Diameter efektif tandon = diameter tandon – tebal dinding
= 144 cm – 2,4 cm
= 141,6 cm
- f. r tandon = 70,8 cm

Oleh karena itu, volume lumpur yang dapat ditampung pada tandon pengering lumpur skala kecil adalah sebanyak = $\pi \times r^2 \times h$ lumpur = 3,14 m × 0,708 m × 0,4 m = 0,630 m³/unit. Direncanakan 3 unit tandon pengering lumpur, sehingga total kapasitas lumpur di tandon pengering = 3 × 0,630 m³ = 1,889 m³.

1) Volume Filtrat

- a. Densitas cake = sg cake × densitas air
= 1,039 × 1000 kg/m³
= 1039 kg/m³
- b. Volume cake = $\frac{\text{volume lumpur awal} \times \% \text{ solid lumpur awal}}{\% \text{ solid cake matang}}$
= $\frac{0,63 \text{ m}^3 \times \% 12\%}{50\%}$
= 0,15 m³
- c. Massa cake = volume cake × densitas cake
= 0,15 m³ × 1039 kg/m³
= 156,96 kg
- d. Volume filtrat = vol. lumpur awal – vol. cake matang
= 0,63 m³ – 0,15 m³
= 0,48 m³

2) Slope Pipa Underdrain

- a. Debit filtrat saat puncak = volume filtrat × % filtrat saat puncak
= 0,48 m³ × 6,84%/jam
= 0,033 m³/jam
= 0,000009 m³/detik
- b. % filtrat saat minimum = 0,029%/jam
- c. Debit filtrat saat minimum = volume filtrat × % filtrat saat minimum
= 0,48 m³ × 0,029%/jam
= 0,0001 m³/jam
= 0,00000004 m³/detik
- d. n PVC = 0,012
- e. d/D = 0,5
- f. Qpeak/Qfull = 0,47
- g. V min/V full = 1
- h. Qfull = $\frac{Q_{\text{peak}}}{Q_{\text{peak}}/Q_{\text{full}}}$
= $\frac{0,000009 \text{ m}^3/\text{detik}}{0,47}$
= 0,00002 m³/detik
- i. Diameter pipa = 89 mm
- j. Tebal dinding = 1,6 mm
- k. Diameter dalam = 89 mm – (2 × 1,6 mm)
= 85,8 mm
- l. Kecepatan = 0,3 m/detik

Berdasarkan kriteria kecepatan aliran filtrat yang direncanakan, maka dapat dihitung slope yang digunakan untuk pipa underdrain.

- a. Slope^{1/2} = $\frac{V}{\left(\frac{1}{n}\right) \times \left(\frac{D}{4}\right)^{0,67}}$
= $\frac{0,3 \text{ m/detik}}{\left(\frac{1}{0,012}\right) \times \left(\frac{0,0858}{4}\right)^{0,67}}$
- b. Slope = 0,0022
- c. Vmin/Vfull = 1
- d. V min = V full
= 0,3 m/detik

3) Jumlah Orifice

- a. Panjang pipa underdrain = diameter efektif tandon
= 1,416 m
- b. Diameter orifice = 6 mm
= 0,6 cm
- c. Diameter pipa = 8,9 cm
- d. r pipa = 4,45 cm
- e. Jarak antar orifice = 1 cm
- f. Keliling 1/2 lingkaran = $\frac{1}{2} \times \pi \times 2 \times r$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{22}{7} \times 2 \times 4,45 \text{ cm}$$

$$= 13,99 \text{ cm}$$

g. Jumlah orifice horizontal:

$$\begin{aligned} \text{Panjang pipa} &= D \text{ orifice} \times n + (\text{jarak orifice} \times (n + 1)) \\ 141,6 \text{ cm} &= 0,6 \text{ cm} \times n + (1 \text{ cm} \times (n + 1)) \\ 141,6 \text{ cm} &= 0,6 \text{ cm} \times n + 1 \text{ cm} \times n + 1 \text{ cm} \\ 140,6 \text{ cm} &= 1,6 \text{ cm} \times n \\ n &= \frac{140,6 \text{ cm}}{1,6 \text{ cm}} \\ n &= 88 \text{ buah} \end{aligned}$$

h. Jumlah orifice vertikal:

$$\begin{aligned} \text{Keliling } \frac{1}{2} \text{ lingk.} &= D \text{ orifice} \times n + (\text{jarak orifice} \times (n + 1)) \\ 13,99 \text{ cm} &= 0,6 \text{ cm} \times n + (1 \text{ cm} \times (n + 1)) \\ 13,99 \text{ cm} &= 0,6 \text{ cm} \times n + 1 \text{ cm} \times n + 1 \text{ cm} \\ 12,99 \text{ cm} &= 1,6 \text{ cm} \times n \\ n &= \frac{12,99 \text{ cm}}{1,6 \text{ cm}} \\ n &= 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

4) Wadah Penampung Filtrat

Direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{a. Panjang} &= 1,2 \text{ m} \\ \text{b. Lebar} &= 0,8 \text{ m} \\ \text{c. Kedalaman} &= \frac{\text{volume filtrat}}{\text{luas permukaan}} \\ &= \frac{0,48 \text{ m}^3}{(1,2 \times 0,8) \text{ m}^2} \\ &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk freeboard direncanakan 10 cm, sehingga total kedalaman untuk wadah filtrat adalah 0,6 m.

Berdasarkan perencanaan bak dan tandon pengering lumpur skala kecil, total biaya yang dibutuhkan masing-masing adalah Rp 30.508.500,- dan Rp 16.114.500,-. Sedangkan untuk biaya pengadaan unit pengurusan motor roda 3 dan kedoteng masing-masing adalah Rp27.800.000 dan Rp9.500.000.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan yaitu pengurusan dan pengangkutan lumpur skala kecil IPAL klaster 1 dilakukan setiap 3 tahun sekali menggunakan truk tinja, IPAL klaster 2 dilakukan setiap 2 tahun sekali menggunakan motor tinja, dan IPAL klaster 3 dilakukan setiap 1 tahun sekali menggunakan kedoteng dan motor tinja. Unit dewatering skala kecil yang direncanakan untuk bak pengering lumpur sebanyak 2 unit dengan kapasitas total 2,88

m³, sedangkan untuk tandon pengering lumpur sebanyak 3 unit dengan kapasitas total 1,9 m³. Total rencana anggaran biaya untuk bak pengering lumpur dan tandon pengering lumpur masing-masing sebesar Rp 30.508.500,- dan Rp 16.114.500,-

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DPUTR Kab. Gresik dan semua pihak yang turut membantu selama proses penyusunan perencanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Soetopo, S. Purwati, Y. Setiawan, and K. Adhytia.W., "Efektivitas proses kontinyu digestasi anaerobik dua tahap pada pengolahan lumpur biologi industri kertas," *J. Ind. Res. (Jurnal Ris. Ind.*, vol. 5, no. 2, 2011.
- [2] E. Tilley *et al.*, *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*, 2nd ed. Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and technology (Eawag), 2014.
- [3] I. S. Nurjanah, "Evaluasi kinerja IPAL komunal di kabupaten Gresik," Tugas Akhir, Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2019.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Peumahan Rakyat RI, *Peraturan Direktorat Jenderal Cipta Karya Tahun 2016 tentang Pembangunan Infrastruktur Sanimas Islamic Development Bank (IDB)*. Jakarta, 2016.
- [5] G. J. T. Mulia, "Evaluasi pengelolaan IPAL komunal di kabupaten Gresik," Tugas Akhir, Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2015.
- [6] I. Machdar, S. Muhammad, T. Onodera, and K. Syutsubo, "A pilot-scale study on a down-flow hanging sponge reactor for septic tank sludge treatment," *Environ. Eng. Res.*, vol. 23, no. 2, pp. 195–204, Jun. 2018, doi: 10.4491/eer.2017.106.
- [7] A. Shodiq, "Perencanaan sistem penyaluran air limbah domestik (SPALD) dan instalasi pengolahan air limbah domestik (IPALD) di kecamatan krian kabupaten sidoarjo," Tugas Akhir, Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2018.
- [8] B. Gutterer, L. Sasse, T. Panzerbieter, and R. Thorsten, "Decentralised wastewater treatment systems (DEWATS) and sanitation in developing countries," *Wedc*, vol. 49, no. 0, p. 356, 2009.
- [9] A. Santoso, "Perencanaan pengolahan air limbah domestik dengan alternatif media biofilter (studi kasus: kejawan gebang kelurahan keputih surabaya)," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2015.
- [10] G. Tchobanoglous, *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*, 5th ed. New York: Mc Graw Hill Book Company, Inc, 2014.
- [11] S. Getahun, S. Septien, J. Mata, T. Somorin, I. Mabbett, and C. Buckley, "Drying characteristics of faecal sludge from different on-site sanitation facilities," *J. Environ. Manage.*, vol. 261, 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110267.
- [12] D. Wulandari, "Pemisahan padatan lumpur tinja pada unit solid separation chamber (ssc)," *J. Purifikasi*, vol. 17, no. 2, pp. 87–93, 2017, doi: 10.12962/j25983806.v17.i2.364.
- [13] BSN-Indonesia, "SNI 7510-Tata Cara Perencanaan Pengolahan Lumpur pada Instalasi Pengolahan Air Minum dengan Bak Pengering Lumpur (Sludge Drying Bed)," Jakarta, 2011.