

# ALTERNATIF BENTUK SISTEM PENYALURAN LINDI PADA SANITARY LANDFILL

## ALTERNATIVE OF LEACHATE COLLECTION SYSTEM TYPE ON SANITARY LANDFILL

Atiek Moesriati dan Sukma Unggul Alamin  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya  
email: atiek@enviro.its.ac.id

### Abstrak

Bentuk sistem penyaluran lindi pada *sanitary landfill* pada umumnya digunakan sistem sisir. Posisi pipa primer pada sistem ini berada di sepanjang tepi sel. Bentuk sistem penyaluran lindi lainnya adalah sistem tulang ikan, yaitu pipa primer berada di tengah sel. Kedua bentuk tersebut akan dibandingkan keefektifannya dalam menyalurkan lindi. Digunakan variasi curah hujan untuk mengukur volume lindi persatuan waktu yang keluar pada *outlet* masing-masing sistem. Pada variasi penghujan dengan PUH 10 tahun dan 25 tahun didapatkan selisih total volume kumulatif lindi yang keluar dari outlet sistem tulang ikan lebih banyak dibandingkan dengan sistem sisir, yaitu sebesar 1,98% dan 6,1%. Hasil penelitian menunjukkan sistem tulang ikan lebih efektif dalam menyalurkan lindi dibandingkan dengan sistem sisir. Berdasarkan analisa statistik “*One way ANOVA*”, variasi sistem penyaluran lindi dapat memberikan pengaruh yang signifikan, yaitu pengukuran volume lindi di *outlet* masing-masing sistem pada waktu pengamatan yang sama. Pada variasi penghujan dengan PUH 10 tahun dan 25 tahun didapatkan *P-Value* sebesar 0 dan 0,027.

Kata kunci : sistem penyaluran lindi, sistem sisir, sistem tulang ikan, efektivitas, volume

### Abstract

Leachate collection system in sanitary landfill commonly uses the comb system, a piping system with the primary pipe in the side of the cell. This experiment would analyse comb system and fishbone system, a piping system which the primary pipe located in the middle of the cell, for collecting and removing leachate. Both variations were used for measuring leachate volume per time existed in each outlet system. Rainfall variation was used to measure leachate volume per time collected from each outlet. From the variation of rainfall with 10-year and 25-year return periods, it was shown a total difference of cumulative volume secretory leachate from fish bone system was greater than comb system, or they are equal to 1.98% and 6.1%. This experiment showed that the fish bone system was more effective than the comb system in collecting leachate. Statistical analysis by using one way anova, the variation of leachate collection removal system (LCRS) gave a significance effect on the leachate volume measurement in each outlet system within the monitoring periode. In 10-year and 25-year return period, the P-values were of 0 and 0,027.

Keywords : leachate collection removal system (LCRS), comb system, fish bone system, effectiveness, volume

## 1. PENDAHULUAN

Pada pengoperasian *sanitary landfill* selain diperlukan pemeliharaan dan monitoring secara periodik, diperlukan juga perencanaan sistem penyaluran lindi yang mampu menampung sementara dan menyalurkan lindi tersebut.

Saat ini penyaluran lindi pada *sanitary landfill* di Indonesia, dan TPA Benowo pada khususnya, menggunakan sistem yang konvensional, yang menggunakan sistem perpipaan dengan pipa primer pada sepanjang tepi sel. Sistem ini dikenal dengan sistem sisir. Untuk itu akan dicari alternatif

penyaluran lindi dengan sistem pipa primer di tengah area sel, yang disebut juga sistem tulang ikan, sehingga dapat dibandingkan efektifitas kinerja saluran tersebut.

Menurut Kartika (1999), sistem pengumpul lindi dibagi menjadi beberapa zona efektif, dan masing-masing zona terdiri atas: saluran pengumpul (dipasang memanjang di setiap garis masing-masing zona), saluran sekunder (rangkainan pipa pada pertemuan antara pengumpul dan pengalir dengan menggunakan sirip drainase plastik), dan saluran primer (jaringan pipa PVC yang berfungsi

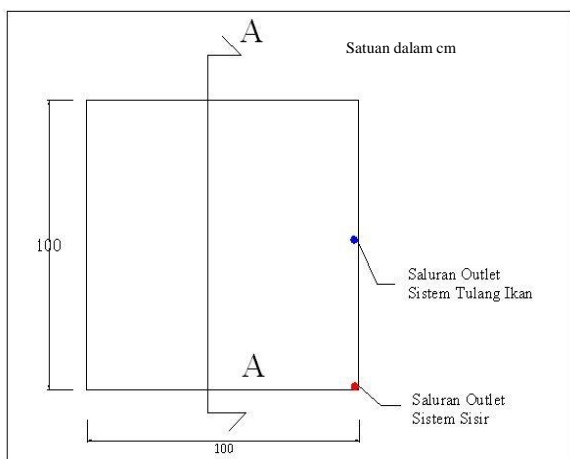
untuk menghubungkan tiap bak kontrol dengan bangunan pengolah lindi).

Jaringan perpipaan lindi terdiri atas 2 sistem, yaitu: jalur perpipaan I, melayani daerah tengah, berada pada elevasi terendah dari area tersebut, kemudian mengalir melalui lereng terendah ke arah unit pengolah lindi dan jalur perpipaan II, yang melayani bagian tepi, berfungsi untuk mengumpulkan dan mengalirkan lindi menuju saluran pengumpul, kemudian dipompakan untuk resirkulasi pada lahan kerja di ujung. Saluran sekunder serta saluran primer pengumpul lindi ini harus memenuhi persyaratan standar U.S. EPA (1989). Di antara pipa pengumpul lindi tersebut diperlukan lapisan pendukung pipa material untuk meningkatkan konduktivitas lindi masuk dalam pipa.

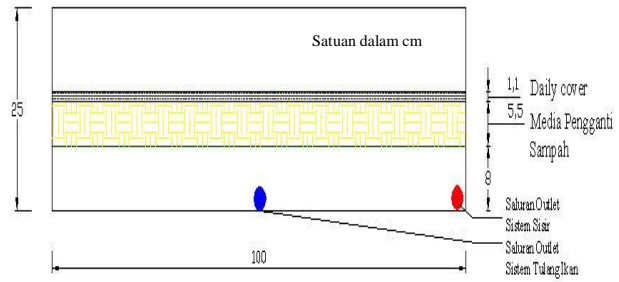
Tujuan penelitian ini adalah menentukan sistem penyaluran lindi di area *sanitary landfill* yang optimal, dengan memperhatikan pengaruh variasi curah hujan terhadap volume lindi persatuan waktu dan pengaruh variasi bentuk sistem penyaluran lindi. Dengan sistem penyaluran lindi yang baik, diharapkan sebagian besar lindi dapat tertangkap di saluran dan dialirkan secara lancar ke instalasi pengolahan lindi sebelum dibuang ke badan air.

**2. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan menggunakan reaktor, untuk menyesuaikan kondisi di *sanitary landfill* dan memudahkan dalam pengamatan, maka reaktor dibuat dari bahan kaca. Adapun rencana bentuk reaktor yang digunakan seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2.



**Gambar 1. Denah Reaktor**



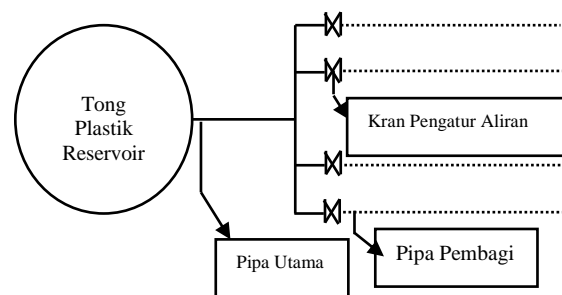
**Gambar 2. Potongan A-A Reaktor**

Digunakan media berupa busa keras jenis rebonet RD 100 sebagai pengganti sampah untuk menghindari penyumbatan yang terjadi, yang telah dilakukan uji permeabilitasnya. Nilai uji permeabilitas mendekati nilai permeabilitas sampah terkompaksi yaitu 0,027 cm/detik.

Variasi curah hujan menggunakan hujan harian maksimum (HHM) dari perhitungan Metode Gumbel dari data curah hujan harian maksimum Stasiun Kandangan, Surabaya, tahun 1995-2004.

**Tabel 1. Curah Hujan Harian Maksimum (HHM) dari Perhitungan Metode Gumbel**

PUH =t	HHM
(tahun)	(mm/hari)
10	234.230
25	291.737



**Gambar 3. Alat Pengatur Hujan**

Pemberian hujan buatan ini menggunakan HHM dengan PUH 10 dan 25 tahun; sebagai dasar untuk perencanaan saluran lindi serta berdasarkan periode perencanaan operasional TPA Benowo yang memiliki umur ekonomis selama 25 tahun. Pemberian hujan buatan ini digunakan pipa PVC yang dilubangi dan disesuaikan dengan skala reaktor. Penghujan ini dilaksanakan selama 5 jam dalam satu hari penghujan. Hal ini sesuai

dengan data rata-rata durasi hujan dalam satu hari (BMG Perak Surabaya, 2005).

Berdasarkan data hujan maksimal berturut-turut yang terjadi dalam satu tahun dari BMG Perak Surabaya bulan Januari-Desember tahun 2004, penghujan buatan ini untuk satu periode dilaksanakan selama 5 hari berturut-turut dengan maksud untuk memberikan kondisi hujan yang ekstrim pada saluran pengumpul lindi.

Bentuk sistem penyaluran lindi menggunakan 2 variasi, yaitu bentuk sistem sisir dan sistem tulang ikan. Sistem sisir adalah sistem penyaluran lindi dengan menggunakan sistem perpipaan dengan pipa primer berada di sepanjang tepi sel. Sedangkan sistem tulang ikan adalah sistem penyaluran lindi dengan menggunakan sistem perpipaan dengan pipa primer berada di tengah sel. Direncanakan saluran pipa pengumpul lindi menggunakan sistem *small bore sewer* (SBS), yaitu suatu sistem penyaluran limbah dengan sistem tertutup menggunakan diameter kecil. Pada masing-masing sistem menggunakan pipa yang sama, dengan diameter 0,5 cm untuk pipa sekunder dan 1 cm untuk pipa primer. Parameter yang diukur adalah volume per satuan waktu dengan periode waktu: tiap 30 menit selama pencurahan hujan; tiap 120 menit selama 12 jam, sejak awal pencurahan hujan; setelah 24 jam sejak awal pencurahan hujan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran volume lindi tiap satuan waktu ini akan dibahas berdasarkan pengukuran setiap harinya dan pengukuran berdasarkan volume kumulatif setelah 5 hari pengukuran untuk variasi hujan dengan HHM dengan PUH 10 tahun dan PUH 25 tahun.

Hasil pengukuran volume lindi tiap satuan waktu untuk HHM dengan PUH 10 tahun saat hari kelima penghujan disajikan dalam Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat diketahui pada 30 menit pertama, volume lindi yang keluar pada kedua sistem relatif kecil. Hal ini dikarenakan air hujan yang turun pada reaktor *sanitary landfill* belum sepenuhnya tersalur ke saluran pengumpul lindi. Air hujan yang telah menjadi lindi ini sebagian ada yang terserap ke lapisan penutup (*daily cover*), dan sebagian ke media pengganti sampah.

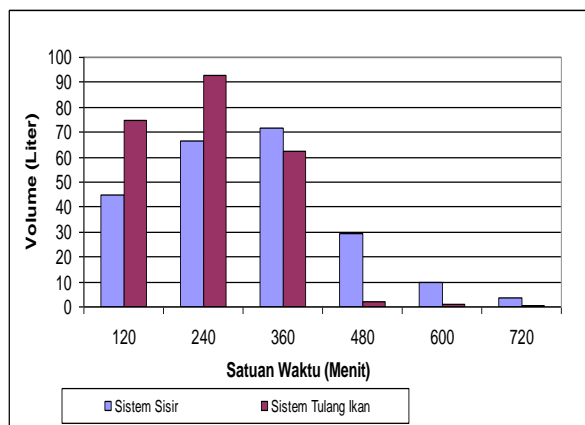
Pada pengukuran hari kelima, pada masing-masing sistem terjadi fluktuasi kenaikan dan penurunan volume yang keluar pada *outlet* sistem. Pada sistem sisir penurunan volume terjadi pada menit ke 210, sedangkan pada sistem tulang ikan pada menit ke 210, dan 270. Hal tersebut dapat disebabkan oleh terjadinya gangguan pada saluran lindi tersebut. Gangguan pada sistem saluran lindi tersebut menurut Yimy (2001), yang sering terjadi disebabkan oleh berkurangnya kapasitas aliran atau macetnya aliran karena mengendapnya partikel-partikel diskrit seperti pasir dan kerikil; masuknya sampah padat di sekitar pipa ke dalam pipa, dan adanya lemak atau minyak yang terkandung dalam lindi.

**Tabel 2.** Hasil Pengukuran Volume Lindi pada HHM dengan PUH 10 tahun saat hari ke-5 Penghujan

No	Menit ke-	Sistem Sisir		Sistem Tulang Ikan	
		Volume Out (Liter)	Kumulatif 2 jam (Liter)	Volume Out (Liter)	Kumulatif 2 jam (Liter)
1	30	7.2		16.1	
2	60	15.6		21.1	
3	90	18.6		26.1	
4	120	19.8	61.2	25.8	89.1
5	150	20.0		28.2	
6	180	23.0		27.6	
7	210	23.3		28.0	
8	240	23.0	89.3	27.9	111.7
9	270	22.4		29.4	
10	300	22.8		30.1	
11	330	23.7		16.3	
12	360	19.7	88.6	10.6	86.4
13	480	34.7	34.7	2.7	2.7
14	600	5.5	5.5	0.9	0.9
15	720	1.6	1.6	0.3	0.3
16	1440	2.5	2.5	0.5	0.5
		283.4	283.4	291.6	291.6

Seperti pada pengukuran hari sebelumnya, volume maksimum lindi yang keluar dari *outlet* sistem sisir pada menit ke 480 dan *outlet* sistem tulang ikan terjadi pada menit ke 300. Hal ini dikarenakan pada periode waktu tersebut, merupakan periode puncak dari kumulatif pencurahan hujannya. Pada periode sebelumnya lindi belum tersalur sepenuhnya, yang dikarenakan adanya tekanan dari air hujan yang ada di permukaan yang berupa genangan.

Pada Gambar 4 diketahui bahwa volume lindi yang keluar pada *outlet* pada sistem sisir dan sistem tulang ikan tiap periode 120 menit. Seperti pada pengukuran hari sebelumnya, untuk sistem sisir volume maksimal untuk pengukuran periode 2 jam pada menit ke 360. Sedangkan untuk sistem tulang ikan volume maksimal pada pengukuran menit ke 240. Setelah periode waktu itu pada masing-masing sistem mengalami penurunan volume lindi yang dikeluarkan.



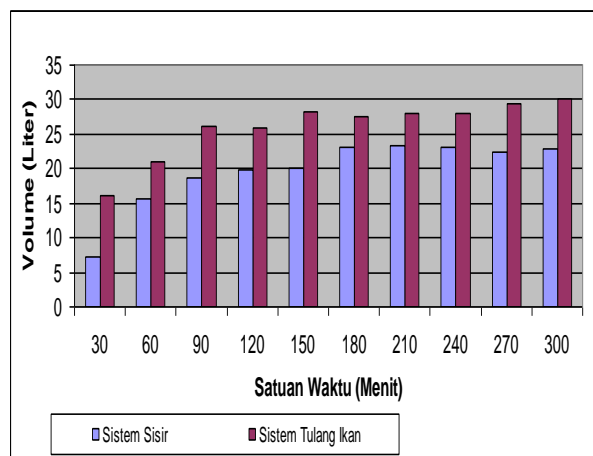
**Gambar 4.** Grafik Volume Lindi tiap Periode Waktu 2 Jam dengan HHM pada PUH 10 Tahun saat Hari Kelima Penghujan.

Pada pengukuran menit ke 480 terdapat perbedaan yang signifikan. Hal ini berkaitan dengan efektifitas pengaliran lindi pada masing-masing sistem. Pada sistem sisir volumenya tetap tinggi karena merupakan kumulatif dari lindi yang belum tersalurkan pada periode waktu sebelumnya. Sedangkan pada sistem tulang ikan, volume lindi yang keluar telah tinggi, jadi hanya sedikit lindi yang tersisa saat pengukuran pada menit 480 tersebut. Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa sistem tulang ikan lebih optimal dalam menyalurkan lindi.

Pada Gambar 5 diketahui bahwa volume lindi yang keluar pada *outlet* pada sistem sisir dan sistem tulang ikan mengalami fluktuasi kenaikan dan penurunan setiap 30 menit. Hal ini dikarenakan air hujan yang turun pada reaktor *sanitary landfill* belum sepenuhnya tersalur ke saluran pengumpul lindi, sebagian ada yang terserap ke lapisan penutup (*daily cover*), dan sebagian ke media pengganti sampah.

**Tabel 3.** Hasil Pengukuran Volume Lindi pada HHM dengan PUH 25 tahun saat Hari Kelima Penghujan.

No.	Menit ke-	Sistem Sisir		Sistem Tulang Ikan	
		Volume Out (Liter)	Kumulatif 2 jam (Liter)	Volume Out (Liter)	Kumulatif 2 jam (Liter)
1	30	4.6		14.0	
2	60	11.3		18.4	
3	90	13.8		19.8	
4	<b>120</b>	15.3	<b>45.0</b>	22.4	<b>74.6</b>
5	150	16.5		23.3	
6	180	17.1		23.4	
7	210	16.3		22.9	
8	<b>240</b>	16.4	<b>66.3</b>	23.0	<b>92.6</b>
9	270	18.2		22.6	
10	300	19.9		23.7	
11	330	16.9		11.4	
12	<b>360</b>	16.7	<b>71.7</b>	4.7	<b>62.4</b>
13	<b>480</b>	29.2	29.2	2	2
14	<b>600</b>	9.8	9.8	0.8	0.8
15	<b>720</b>	3.8	3.8	0.6	0.6
16	<b>1440</b>	1.7	1.7	0.7	0.7
		227.5	227.5	233.7	233.7



**Gambar 5.** Grafik Volume tiap Satuan Waktu Lindi yang Keluar Waktu Pencurahan Hujan dengan HHM pada PUH 25 Tahun saat Hari Kelima Penghujan.

Pada sistem sisir volume maksimum yang keluar tidak selalu seimbang ini disebabkan karena sistem saluran lindi yang ada tidak dapat sepenuhnya menyalurkan lindi yang masuk, sehingga hal ini dapat menyebabkan kondisi jenuh pada tanah *liner*.

Kondisi ini disebabkan ketidakseimbangan antara *inflow* dan *outflow* pada lahan. Kondisi jenuh pada tanah ini didukung oleh beberapa faktor, antara lain: curah hujan, luapan banjir, topografi medan, dan geologi (Anonim, 2002).

Dari total kumulatif pengukuran dalam periode penghujan hari kedua ini, dapat diketahui volume total kumulatif lindi yang keluar pada *outlet* masing-masing sistem, untuk sistem sisir total kumulatifnya sebanyak 283,4 liter, sedangkan pada sistem tulang ikan sebanyak 291,6 liter. Kemudian dapat dihitung volume lindi yang belum tersalurkan, dari selisih antara volume air hujan buatan yang dicurahkan pada reaktor *sanitary landfill* dengan volume total kumulatif yang keluar pada *outlet*. Untuk sistem sisir volume sisanya sebanyak 8,6 liter, dan untuk sistem tulang ikan terdapat kelebihan sebanyak 0,4 liter. Kelebihan volume lindi yang keluar pada *outlet* sistem tulang ikan ini berasal dari lindi yang belum keluar pada penghujan hari sebelumnya.

#### Pengukuran Volume Kumulatif Lindi Selama 5 Hari pada HHM dengan PUH 10 tahun

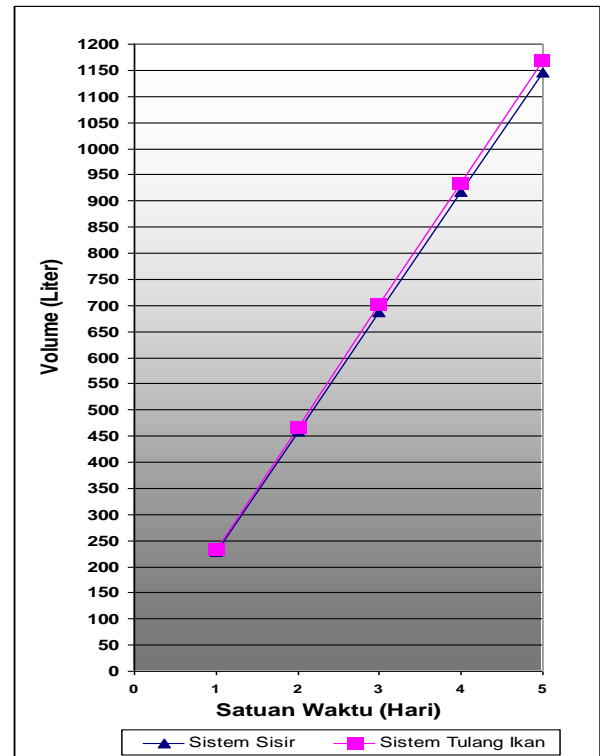
Berdasarkan Gambar 6 diketahui bahwa jumlah volume kumulatif lindi per harinya mengalami peningkatan untuk sistem sisir dan sistem tulang ikan.

Dari total kumulatif lindi yang terukur dalam 5 hari diketahui bahwa pada sistem tulang ikan mampu mengalirkan lindi sebanyak 1168,2 liter, atau rata-rata perharinya 233,64 liter. Sedangkan pada sistem sisir lindi yang keluar lebih sedikit, yaitu sebanyak 1145,5 liter, atau rata-rata perharinya sebesar 229,1 liter.

Perhitungan selisih volume kumulatif lindi yang dikeluarkan ini dengan penghujan pada PUH 10 tahun sebesar 22,7 liter atau sebesar 1,98 % dari total volume lindi yang keluar pada *outlet*, dan selisih rata-rata dari volume perharinya sebesar 4,54 liter.

Air yang masuk pada *landfill* dari penghujan selama 5 hari 1171,15 liter. Maka selisih volumenya untuk sistem sisir sebanyak 25,6 liter dan pada sistem tulang ikan sebanyak 2,9 liter. Didapatkan selisih volume yang keluar pada *outlet* sistem sisir dan tulang ikan sebesar 22,7 liter, atau pada sistem tulang ikan lebih banyak 88,5%

dibandingkan sistem sisir. Dari perhitungan kumulatif lindi yang keluar dalam 5 hari dengan penghujan HHM pada PUH 10 tahun ini, dapat diketahui bahwa sistem tulang ikan lebih optimal dalam menyalurkan lindi dibandingkan dengan sistem sisir.



Gambar 6. Grafik Volume Kumulatif Lindi pada HHM dengan PUH 10 Tahun

#### Pengukuran Volume Kumulatif Lindi Selama 5 Hari pada HHM dengan PUH 25 tahun

Volume kumulatif lindi perharinya mengalami peningkatan untuk sistem sisir maupun sistem tulang ikan.

Dari total kumulatif lindi yang terukur dalam 5 hari diketahui bahwa pada sistem tulang ikan mampu mengalirkan lindi sebanyak 1439,9 liter, atau rata-rata perharinya 287,98 liter. Sedangkan pada sistem sisir lindi yang keluar lebih sedikit, yaitu sebanyak 1357,1 liter, atau rata-rata perharinya 271,42 liter. Beda selisih volume kumulatif lindi yang dikeluarkan ini dengan penghujan pada PUH 25 tahun sebesar 82,8 liter atau 6,1% dari total volume lindi yang keluar pada *outlet*, dan selisih rata-rata dari volume perharinya sebesar 16,56 liter.

Berdasarkan teori keseimbangan air, volume air yang masuk ke *landfill* dikurangi dengan volume air yang dikonsumsi untuk reaksi kimia adalah volume air yang keluar pada *outlet*. Air yang masuk pada *landfill* dari penghujan selama 5 hari, yaitu 1468,685 liter. Selisih volume untuk sistem sisir sebanyak 101,6 liter dan pada sistem tulang ikan sebanyak 18,8 liter. Didapatkan selisih volume yang keluar pada *outlet* sistem sisir dan tulang ikan sebesar 82,8 liter, atau pada sistem tulang ikan lebih banyak 81,51 % dibandingkan sistem sisir.

Dari volume kumulatif lindi yang keluar dalam 5 hari dengan penghujan HHM pada PUH 25 tahun ini, dapat diketahui bahwa sistem tulang ikan lebih optimal dalam menyalurkan lindi dibandingkan dengan sistem sisir.

Berdasarkan analisa statistik metode *One way ANOVA* dengan menggunakan rentang keyakinan = 95 %, dan faktor kesalahan ( $\alpha$ ) = 5 % didapatkan hasil sebagai berikut:

- *P-value* pada penghujan PUH 10 tahun: 0,000
- *P-value* pada penghujan PUH 25 tahun: 0,027

Sehingga variasi sistem penyaluran lindi memberikan pengaruh yang signifikan pada pengukuran volume lindi di *outlet* masing-masing sistem pada waktu pengamatan yang sama.

#### 4. KESIMPULAN

Keunggulan sistem tulang ikan dibandingkan dengan sistem sisir dalam penyaluran lindi pada *Sanitary Landfill* adalah:

1. Didapat hasil yang berbeda antara variasi penghujan dengan PUH 10 tahun dengan 25 tahun, yaitu sebagai berikut:
  - Pada PUH 10 tahun volume kumulatif lindi persatuan waktu selama 5 hari pada sistem tulang ikan lebih tinggi 1,98% dari sistem sisir, sedangkan untuk PUH 25 tahun sebesar 6,10%.
  - Pada PUH 10 tahun efektivitas pengumpulan lindi berdasarkan perbandingan air hujan yang masuk sebagai hujan buatan dan yang keluar pada *outlet* saluran, sistem tulang ikan lebih tinggi 88,5 % dari sistem sisir, sedangkan PUH 25 tahun lebih tinggi 81,51 %.
2. Berdasarkan efisiensi panjang pipa penyalur lindi pada pipa sekunder suatu area dengan panjang dan lebar yang sama, sistem tulang

ikan lebih pendek 40% dibandingkan dengan menggunakan sistem sisir.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (1989). **Seminar Publication: Requirements for Hazardous Waste Landfill Design, Construction, and Closure.** Report Number EPA/625/4-89/022, Center for Environmental Research Information, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Cincinnati, Ohio.
- Anonim (2002). **Diktat Kuliah Drainase.** TS 1565-2002-2003, Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS, Surabaya.
- Anonim (2004). **Rencana Pengembangan TPA Benowo.** Dinas Kebersihan Kotamadya Surabaya, Pemerintah Kotamadya Surabaya.
- BMG Perak Surabaya, (2005). **Data Hujan dan Durasi Hujan Stasiun Hujan di Surabaya.** Surabaya Jawa Timur.
- Brachman, R. W., dan Krushelnitzky, R. P. (2004). **Stress Concentrations Around Circular Holes in Perforated Drainage Pipes,** Geosynthetics International Vol 9, 189-194.
- Kartika, A. S. (1999). **Perencanaan TPA dengan Metode Sanitary Landfill di Tambak Dono Kec. Benowo,** Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen, S. Vigil (1993). **Integrated Solid Waste Management : Engineering Principles and Management Issue.** Mc Graw Hill Inc, New York.
- U.S. EPA (1989). **Requirements for Hazardous Waste Landfill Design, Construction, and Closure.** Cincinnati, Ohio.
- Yimi (2001). **Studi Penyaluran Lindi di TPA Supit urang, Kotamadya Malang.** Tugas Akhir, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.