



TUGAS AKHIR - RE 091324

**PENGARUH RESIRKULASI LINDI  
BERSALINITAS DAN PENAMBAHAN  
BIOAKTIVATOR EM4 TERHADAP LAJU  
DEGRADASI SAMPAH DAN  
PEMBENTUKAN GAS  
DI TPA NGIPIK**

**UNE HADYAN PUTRI  
NRP 3310 100 075**

**Dosen Pembimbing  
IDAA WARMADEWANTHI, ST., MT. Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**



FINAL PROJECT - RE 091324

**EFFECT OF SALINE LEACHATE  
RECIRCULATION AND BIOACTIVATOR (EM4)  
ADDITION ON WASTE DEGRADATION RATE  
AND GAS PRODUCTION IN NGIPIK LANDFILL**

**UNE HADYAN PUTRI  
NRP 3310 100 075**

**Dosen Pembimbing  
IDAA WARMADEWANTHI, ST., MT. Ph.D**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGARUH RESIRKULASI LINDI BERSALINITAS DAN PENAMBAHAN BIOAKTIVATOR EM4 TERHADAP LAJU DEGRADASI SAMPAH DAN PEMBENTUKAN GAS DI TPA NGIPIK, GRESIK

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada  
Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

**UNE HADYAN PUTRI**  
**NRP. 3310 100 075**

Disetujui:

Pembimbing Tugas Akhir



**LD.A.A. Warmadewanthi, ST., MT., Ph.D**

**NIP. 19750212 199903 2 001**



## ABSTRAK

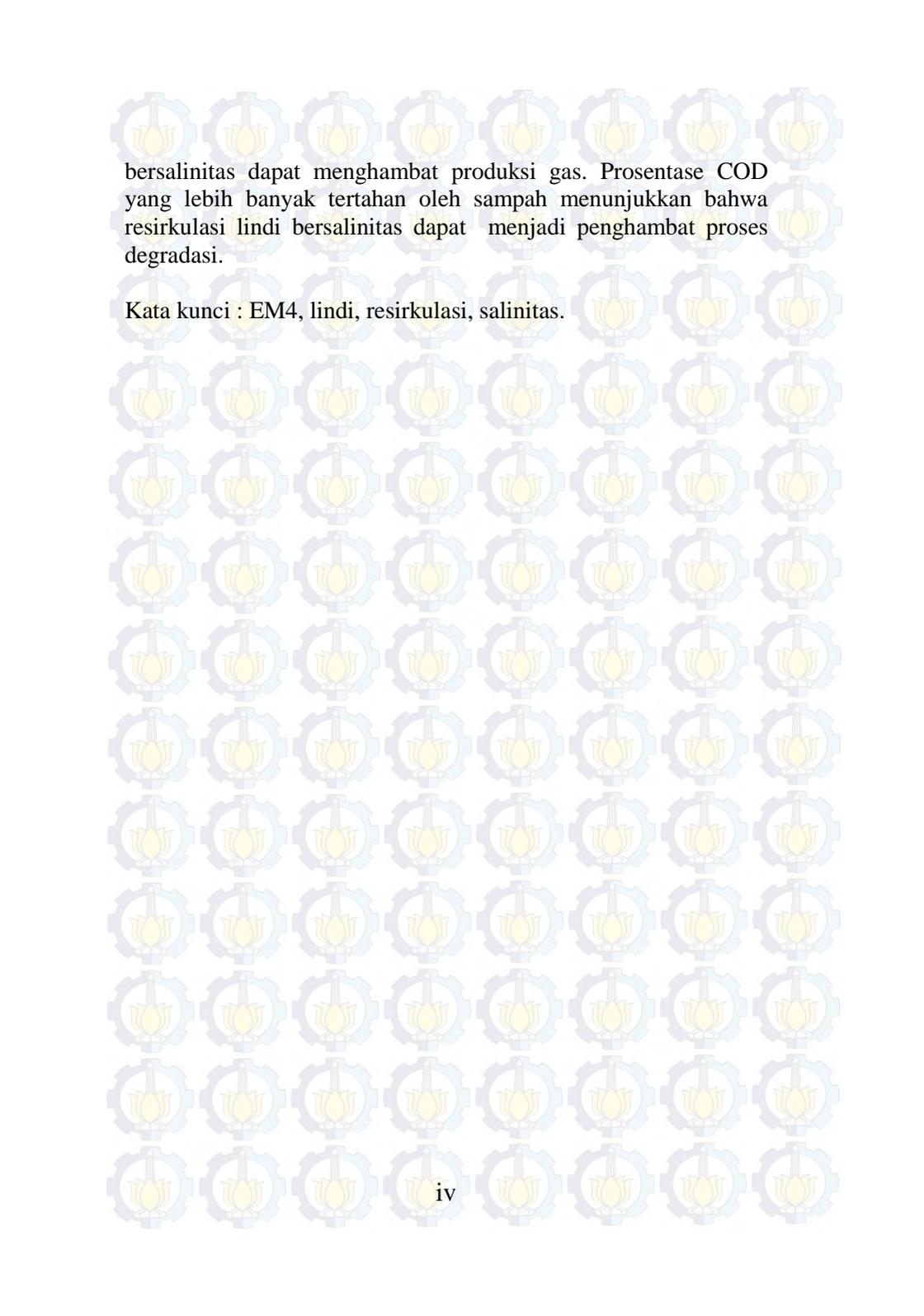
### Pengaruh Resirkulasi Lindi Bersalinitas dan Penambahan Bioaktivator EM4 Terhadap Laju Degradasi Sampah dan Pembentukan Gas di TPA Ngipik Gresik

Nama Mahasiswa : Une Hadyan Putri  
NRP : 3310100075  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : IDAA Warmadewanthi, ST., MT., Ph.D

TPA Ngipik merupakan satu-satunya TPA di Kabupaten Gresik yang berada dalam kondisi *overload*. Lindi yang dihasilkan oleh TPA Ngipik memiliki kandungan salinitas dan organik yang cukup tinggi. Salinitas dapat menghambat aktivitas bakteri dalam melakukan proses penguraian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh resirkulasi lindi bersalinitas dengan penambahan bioaktivator EM4 terhadap laju degradasi sampah dan pembentukan gas.

Penelitian ini menggunakan 9 buah reaktor. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah salinitas dan konsentrasi EM4. Variasi salinitas yang digunakan adalah 6 ppt yang mewakili kondisi asli di lapangan dan 10 ppt yang mewakili kondisi ekstrim. Variasi penambahan EM4 yang digunakan adalah 1 mL/L dan 3 mL/L sesuai dengan penelitian terdahulu.

Resirkulasi lindi bersalinitas dan penambahan EM4 berpengaruh terhadap kualitas *effluent* lindi, laju degradasi sampah dan produksi gas. Efisiensi penurunan BOD terbesar terjadi pada R9 yakni 74,47 % dan pada R5 sebesar 77,78 %. Seperti halnya penurunan pada konsentrasi BOD, efisiensi penurunan COD terbesar terjadi pada R9 sebesar 73,21 % dan pada R6 sebesar 66,07%. Laju degradasi terbesar pada reaktor dengan variasi penambahan 6 ppt dimiliki oleh R5 sebesar 0,0579 kg/hari. Sedangkan laju degradasi terbesar pada reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt dimiliki oleh R9 dengan nilai  $k$  sebesar 0,0477 kg/hari. Pada kesetimbangan massa, resirkulasi lindi



bersalinitas dapat menghambat produksi gas. Prosentase COD yang lebih banyak tertahan oleh sampah menunjukkan bahwa resirkulasi lindi bersalinitas dapat menjadi penghambat proses degradasi.

Kata kunci : EM4, lindi, resirkulasi, salinitas.

## ABSTRACT

### **Effect of Saline Leachate Recirculation and Bioactivator (EM4) Addition on Waste Degradation Rate and Gas Production In Ngipik Landfill, Gresik**

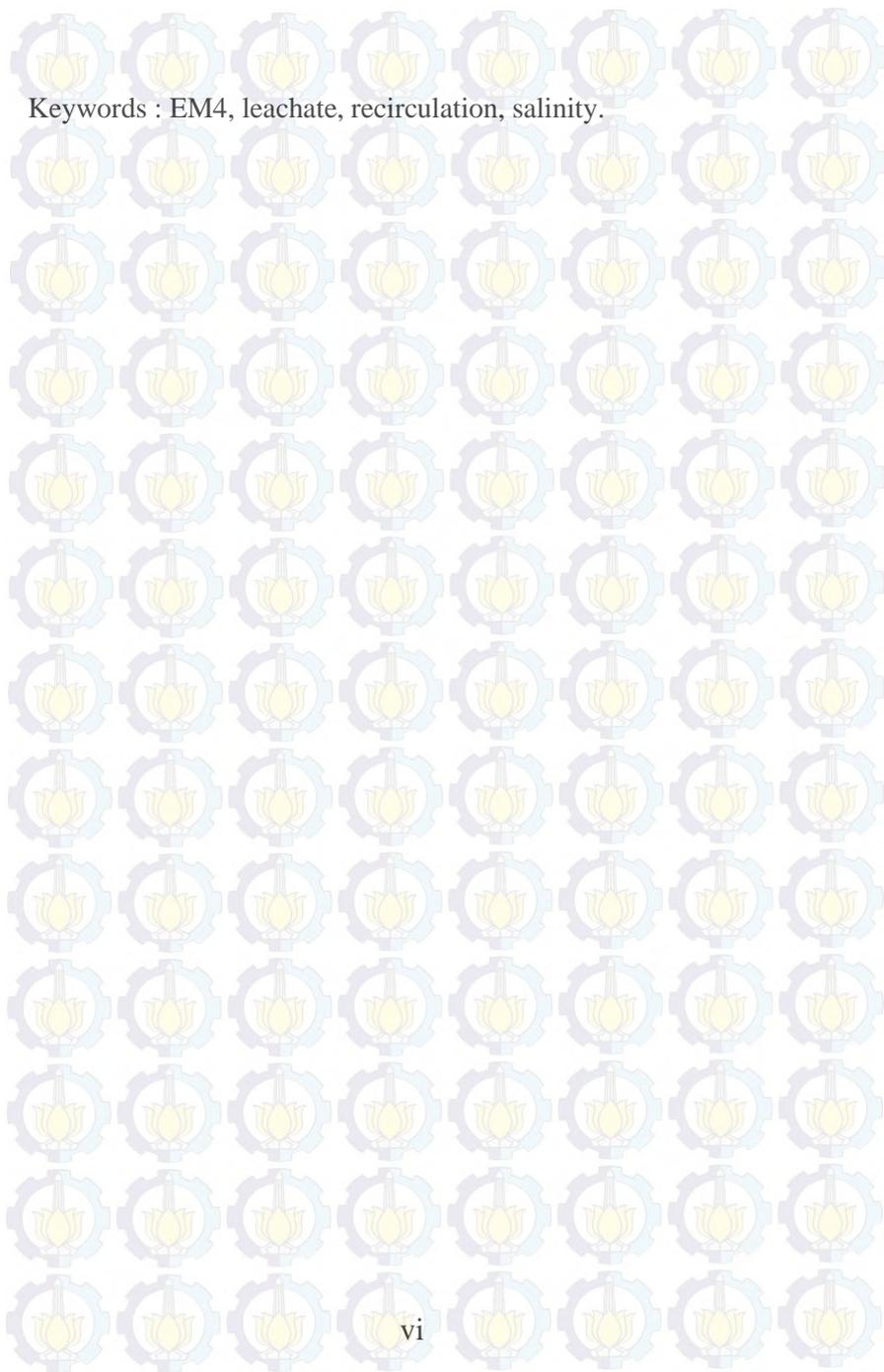
Student name : Une Hadyan Putri  
NRP : 3310100075  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : IDAA Warmadwanthi, ST., MT., Ph.D.

TPA Ngipik is the only landfill in Gresik district which have an overload solid waste condition. Leachate generated from TPA Ngipik has high salinity and organic matter. Salinity inhibit activity of bacteria on process of decomposition. The aim of this study is to analyze the effect of saline leachate recirculation with bioactivator (EM4) addition on solid waste degradation and gas formation.

This study used 9 (nine) reactors. Variable of the study were salinity and concentration of EM4. Variety of salinity were 6 ppt that represent original condition and 10 ppt that represent extreme condition. Variety of EM4 addition were 1 mL/L and 3 mL/L which is consistent with the prior research.

Saline leachate recirculation and EM4 addition has an effect on quality of leachate effluent, solid waste degradation rate and gas formation. BOD removal efficiency occurred at R9 (74,47%) and R5 (77,78%). As well as a decreased in the concentration of BOD, the highest of COD removal efficiency occurred at R9 (73.21%) and R6 (66.07%). The highest degradation rate in the reactor with addition variation of 6 ppt found at R5 (0.0579 kg/day). While the greatest degradation rate in reactor with a variation of 10 ppt salinity found at R9 (k value = 0.0477 kg/day). In mass balance, saline leachate recirculation inhibit gas formation. Higher percentage of COD restrained by solid waste indicated that saline leachate recirculation inhibit degradation process.

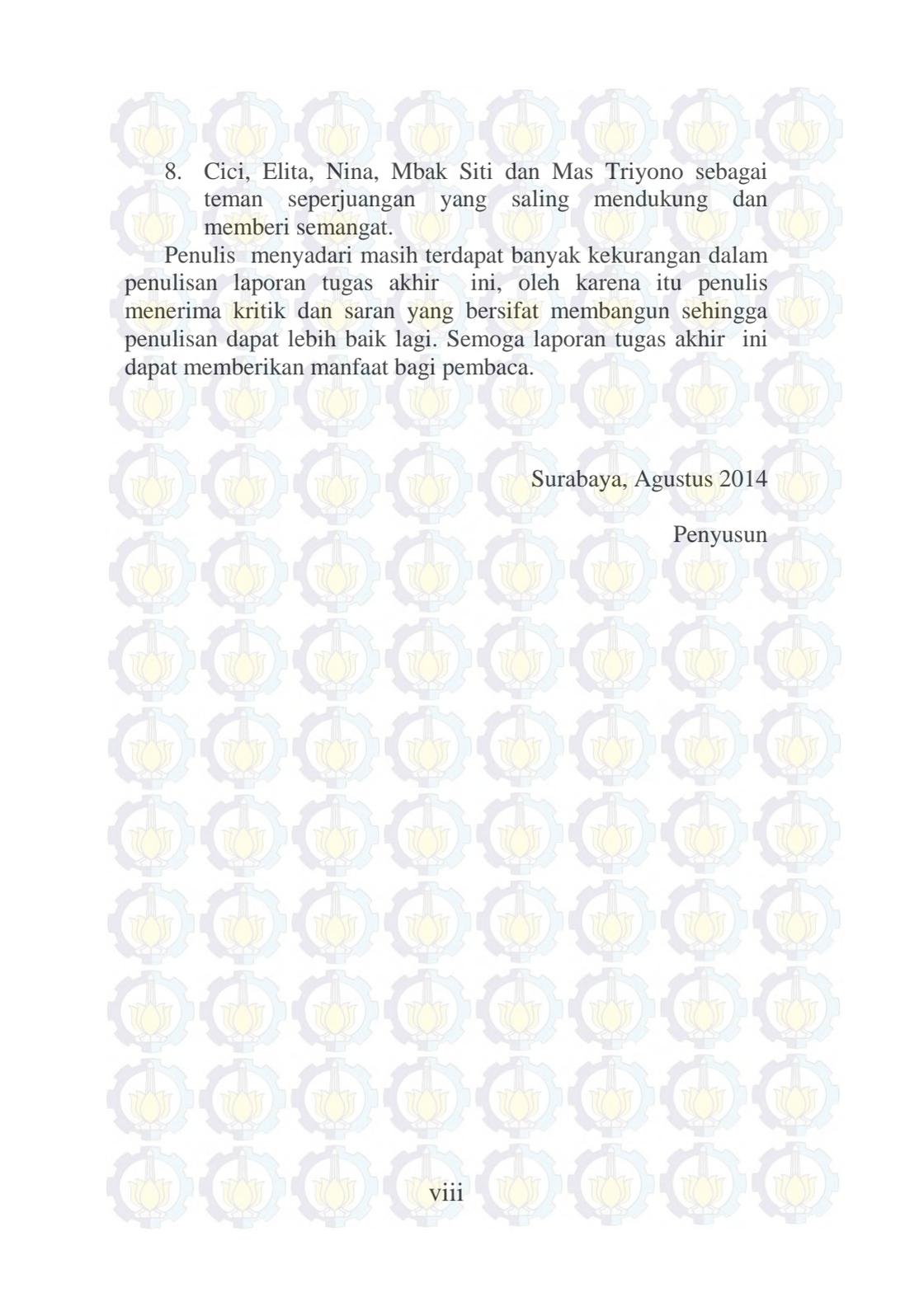
Keywords : EM4, leachate, recirculation, salinity.



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas perlindungan, ilmu, bimbingan, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul “ Pengaruh Resirkulasi Lindi Bersalinitas dan Penambahan Bioaktivator EM4 Terhadap Degradasi Sampah dan Pembentukan Gas di TPA Ngipik Gresik” dengan lancar. Tak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penulisan laporan tugas akhir ini, yakni :

1. Ibu IDAA Warmadewanti, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir, terima kasih atas kesediaan, kesabaran, dan ilmu yang diberikan dalam proses bimbingan.
2. Ibu Dr. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, M.T., Ibu Susi Agustina Wilujeng, S.T., M.T. dan Bapak Arseto Yekti Bagastyo S.T., M.Phil., Ph.D selaku dosen penguji, terima kasih atas saran dan masukan yang telah diberikan.
3. Bapak Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Ph.D selaku dosen wali, terima kasih atas dukungan dan nasehat Bapak selama ini.
4. Kedua Orang tua penulis, atas segala dukungan moral, materi, dan doanya.
5. Pak Hadi, Pak Eddy, Mbak Iin, Mbak Mery, Pak Afan serta Pak Ashari selaku laboran laboratorium Jurusan Teknik lingkungan, atas segala ilmu dan kesabaran yang telah diberikan selama berada di laboratorium.
6. Sahabat – sahabat yang telah memberi dukungan, motivasi dan semangat serta menyediakan waktunya untuk membantu.
7. Teman – teman angkatan 2010, terima kasih atas kebersamaan selama ini.

- 
8. Cici, Elita, Nina, Mbak Siti dan Mas Triyono sebagai teman seperjuangan yang saling mendukung dan memberi semangat.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga penulisan dapat lebih baik lagi. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Agustus 2014

Penyusun

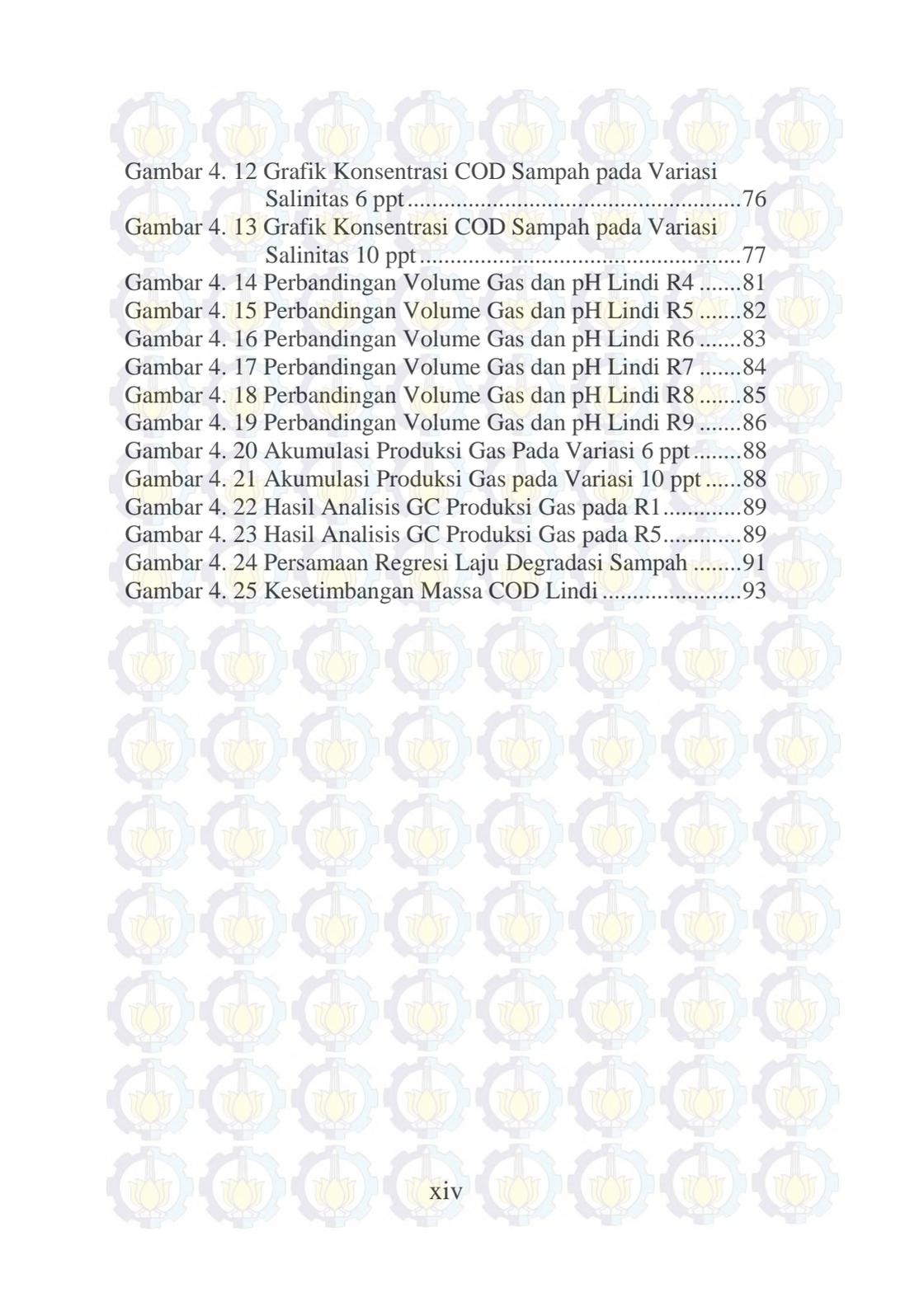
## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Ruang Lingkup Penelitian .....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Komposisi dan Karakteristik Sampah .....	7
2.2. Reaksi yang Terjadi di TPA .....	11
2.3. Proses Degradasi Anaerobik Sampah.....	13
2.4. Komposisi dan Karakteristik Lindi yang Dihasilkan di TPA .....	16
2.5. Komposisi dan Karakteristik Gas yang Dihasilkan di TPA .....	18
2.6. Produksi Gas di TPA.....	19
2.7. Sistem Resirkulasi Lindi.....	22
2.8. Bioaktivator EM4 ( <i>Effective Microorganism 4</i> ).....	23
2.9. Laju Degradasi Sampah dan Reaksi Kinetiknya .....	25
2.10. Salinitas sebagai Inhibitor .....	26
2.11. Kesetimbangan Massa Proses Degradasi Sampah .....	28
2.12. Penelitian Terdahulu .....	30
2.13. Gambaran Umum TPA Ngipik Gresik.....	32
BAB 3 METODA PENELITIAN .....	35
3.1. Kerangka Pelaksanaan Penelitian.....	35
3.2. Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	35
3.2.1. Ide Penelitian.....	38
3.2.2. Studi Literatur .....	38
3.2.3. Persiapan Penelitian .....	39

3.2.4. Penelitian Pendahuluan .....	44
3.2.5. Penelitian Utama .....	46
3.2.6. Resirkulasi Lindi Bersalinitas dan Penambahan Bioaktivator EM4 .....	50
3.2.7. Analisis Data dan Pembahasan .....	51
3.2.8. Kesimpulan dan Saran .....	52
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>55</b>
4.1. Penelitian Pendahuluan.....	55
4.1.1. Karakteristik Sampah TPA Ngipik.....	55
4.1.2. Karakteristik Lindi TPA Ngipik.....	58
4.2. Pengaruh Resirkulasi Lindi Bersalinitas dan EM4 .....	59
4.2.1. Perubahan Kondisi Parameter pH Lindi dan Sampah.....	60
4.2.2. Pengaruh Terhadap Parameter Kadar Air Sampah.....	64
4.2.3. Pengaruh Terhadap Parameter Suhu Sampah.....	65
4.2.4. Pengaruh Terhadap Kandungan BOD dan COD Lindi .....	67
4.2.5. Pengaruh Terhadap Kandungan COD Sampah .....	74
4.3. Pengaruh Resirkulasi Bersalinitas dan Penambahan EM4 terhadap Pembentukan Gas.....	78
4.3.1. Pembentukan Gas Metan Berdasarkan Stoikiometri.....	78
4.3.2. Pengaruh Terhadap Produksi Gas Harian.....	80
4.3.2. Pengaruh Terhadap Akumulasi Gas Terbentuk.....	87
4.4. Persamaan Kinetika Laju Degradasi Sampah.....	90
4.5. Keseimbangan Massa ( <i>Mass Balance</i> ) Bahan Organik.....	92
4.6. Hasil Akhir Penelitian.....	96
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>105</b>
5.1. Kesimpulan .....	105
5.2. Saran .....	105
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>107</b>
<b>LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM .....</b>	<b>117</b>
<b>LAMPIRAN B PERHITUNGAN PENDAHULUAN .....</b>	<b>125</b>
<b>LAMPIRAN C DOKUMENTASI HASIL PENELITIAN .....</b>	<b>129</b>
<b>LAMPIRAN D HASIL ANALISIS LABORATORIUM .....</b>	<b>131</b>

## DAFTAR GAMBAR

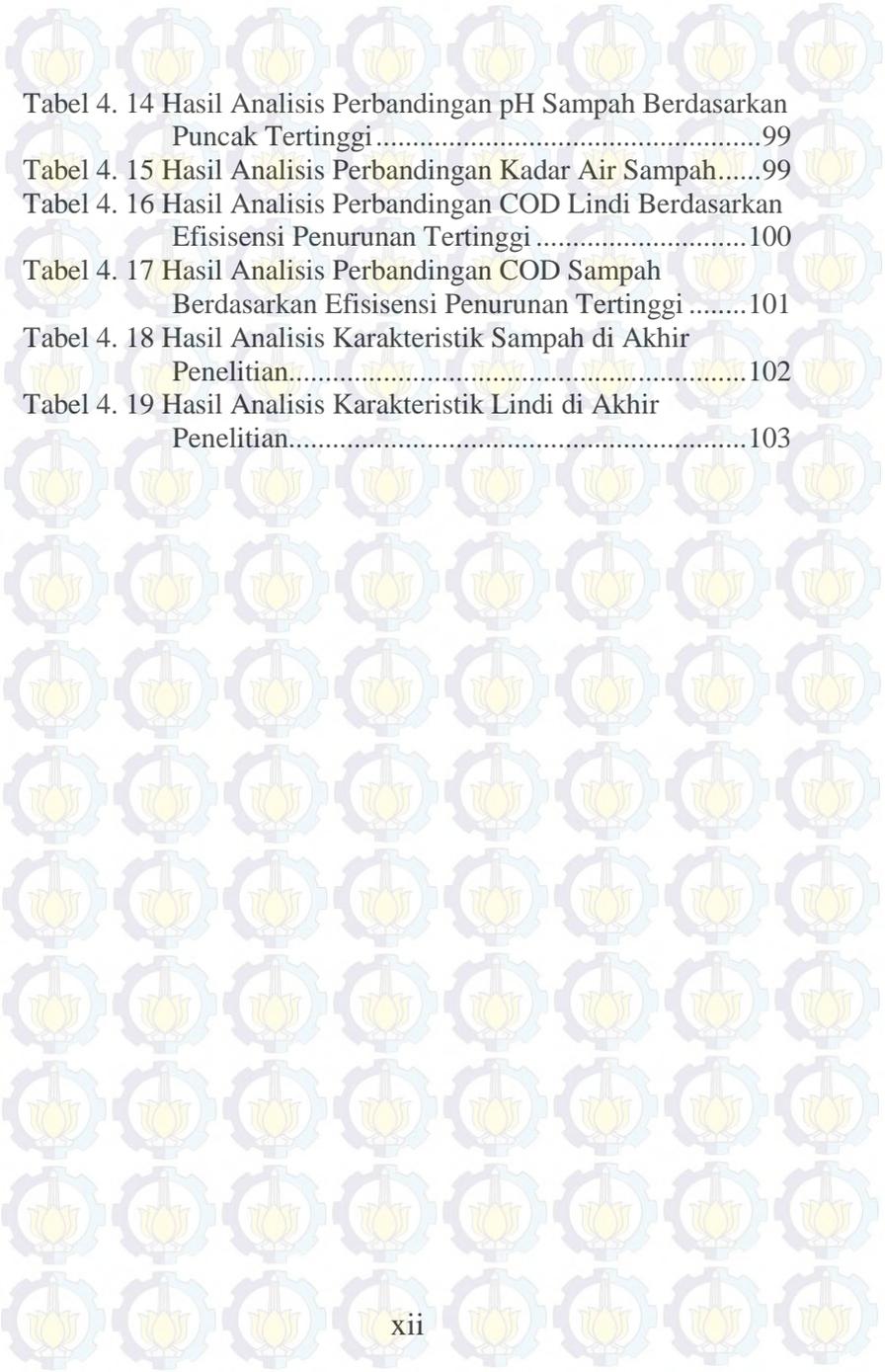
Gambar 2. 1 Proses Degradasi Anaerob.....	15
Gambar 2. 2 Fase Pembentukan Gas di Landfill.....	20
Gambar 2. 3 Perbandingan Volume Lindi dengan Resirkulasi dan Tidak Resirkulasi.....	23
Gambar 2. 4 Diagram Kesetimbangan Air.....	28
Gambar 2. 5 Diagram Keseimbangan Massa.....	29
Gambar 3. 1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian.....	36
Gambar 3. 2 Rangkaian Reaktor Penelitian.....	41
Gambar 3. 3 Variasi Reaktor Penelitian.....	52
Gambar 3. 4 Lokasi Pengambilan Sampel Lindi dan Sampah di TPA Ngipik, Gresik.....	53
Gambar 4. 1 Grafik Perubahan pH <i>Effluent</i> Lindi pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 6 ppt.....	61
Gambar 4. 2 Grafik Perubahan pH <i>Effluent</i> Lindi pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 10 ppt.....	62
Gambar 4. 3 Grafik Perubahan pH Sampah pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 6 ppt.....	63
Gambar 4. 4 Grafik Perubahan pH Sampah pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 10 ppt.....	63
Gambar 4. 5 Hasil Analisis Kadar Air Akhir Tiap Reaktor.....	65
Gambar 4. 6 Grafik Perubahan Suhu Sampah pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 6 ppt.....	66
Gambar 4. 7 Grafik Perubahan Suhu Sampah pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 10 ppt.....	66
Gambar 4. 8 Grafik Konsentrasi BOD Lindi pada Variasi Penambahan 6 ppt.....	68
Gambar 4. 9 Grafik Konsentrasi COD Lindi pada Variasi Salinitas 6 ppt.....	69
Gambar 4. 10 Grafik Konsentrasi BOD Lindi pada Variasi Penambahan 10 ppt.....	71
Gambar 4. 11 Grafik Konsentrasi COD Lindi pada Variasi Salinitas 10 ppt.....	72



Gambar 4. 12 Grafik Konsentrasi COD Sampah pada Variasi Salinitas 6 ppt .....	76
Gambar 4. 13 Grafik Konsentrasi COD Sampah pada Variasi Salinitas 10 ppt .....	77
Gambar 4. 14 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi R4 .....	81
Gambar 4. 15 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi R5 .....	82
Gambar 4. 16 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi R6 .....	83
Gambar 4. 17 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi R7 .....	84
Gambar 4. 18 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi R8 .....	85
Gambar 4. 19 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi R9 .....	86
Gambar 4. 20 Akumulasi Produksi Gas Pada Variasi 6 ppt .....	88
Gambar 4. 21 Akumulasi Produksi Gas pada Variasi 10 ppt .....	88
Gambar 4. 22 Hasil Analisis GC Produksi Gas pada R1 .....	89
Gambar 4. 23 Hasil Analisis GC Produksi Gas pada R5 .....	89
Gambar 4. 24 Persamaan Regresi Laju Degradasi Sampah .....	91
Gambar 4. 25 Kestimbangan Massa COD Lindi .....	93

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data Analisis Proximate untuk Beberapa Jenis Sampah .....	9
Tabel 2. 2 Data Analisis Ultimate Pada Sampah.....	10
Tabel 2. 3 Parameter Kimia Pada Tahap Degradasi Sampah.....	16
Tabel 2. 4 Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur Landfill .....	17
Tabel 2. 5 Karakteristik Lindi Menggunakan Sistem Resirkulasi Lindi .....	18
Tabel 2. 6 Komposisi Gas Dihasilkan di TPA .....	19
Tabel 2. 7 Karakteristik Gas Ditimbulkan di TPA .....	19
Tabel 2. 8 Klasifikasi Air Berdasarkan Kandungan Salinitas .....	28
Tabel 2. 9 Penelitian Terdahulu yang Pernah Dilakukan .....	30
Tabel 2. 10 Daerah Pelayanan Sampah dan Timbulannya .....	32
Tabel 3. 1 Variasi Penelitian yang Digunakan .....	48
Tabel 4. 1 Hasil Analisis Karakteristik Sampah TPA Ngipik.....	56
Tabel 4. 2 Hasil Analisis Komposisi Unsur Organik dalam Sampah .....	57
Tabel 4. 3 Hasil Analisis Karakteristik Lindi TPA Ngipik .....	59
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Kemampuan Penurunan Konsentrasi COD Lindi pada Penambahan Salinitas 6 ppt.....	70
Tabel 4. 5 Hasil Analisis Kemampuan Penurunan Konsentrasi COD Lindi pada Penambahan Salinitas 10 ppt.....	73
Tabel 4. 6 Hasil Analisis Perbandingan BOD dan COD Lindi (BOD/COD) .....	74
Tabel 4. 7 Hasil Analisis Kemampuan Penurunan Konsentrasi COD Sampah pada Penambahan Salinitas 6 ppt.....	75
Tabel 4.8 Hasil Analisis Kemampuan Penurunan Konsentrasi COD Sampah pada Penambahan Salinitas 10 ppt.....	77
Tabel 4. 9 Hasil Analisis Persamaan Laju Degradasi Sampah.....	91
Tabel 4. 10 Hasil Analisis <i>Mass Balance</i> Tiap Reaktor.....	95
Tabel 4. 11 Hasil Analisis Prosentase <i>Mass Balance</i> .....	95
Tabel 4. 12 Besar Penyerapan COD Sampah.....	97
Tabel 4. 13 Hasil Analisis Perbandingan pH Lindi Berdasarkan Puncak Tertinggi .....	98



Tabel 4. 14 Hasil Analisis Perbandingan pH Sampah Berdasarkan Puncak Tertinggi.....	99
Tabel 4. 15 Hasil Analisis Perbandingan Kadar Air Sampah.....	99
Tabel 4. 16 Hasil Analisis Perbandingan COD Lindi Berdasarkan Efisiensi Penurunan Tertinggi .....	100
Tabel 4. 17 Hasil Analisis Perbandingan COD Sampah Berdasarkan Efisiensi Penurunan Tertinggi .....	101
Tabel 4. 18 Hasil Analisis Karakteristik Sampah di Akhir Penelitian.....	102
Tabel 4. 19 Hasil Analisis Karakteristik Lindi di Akhir Penelitian.....	103

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

TPA Ngipik merupakan satu- satunya TPA yang dimiliki oleh Kabupaten Gresik yang beroperasi sejak tahun 2002. TPA Ngipik memiliki luas total 6 ha dengan luas zona pembuangan sekitar  $\pm$  4 ha. Saat ini, TPA Ngipik berada dalam kondisi *overload* dimana jumlah sampah yang ditampung oleh TPA Ngipik mencapai 698,53 m<sup>3</sup>/hari. Instalasi pengolahan lindi yang ada tidak berjalan dengan baik. Hal ini ditandai dengan kandungan salinitas dan bahan organik yang cukup tinggi dan belum mencapai standar baku mutu. Selain itu, gas yang dihasilkan belum dikelola dan terbuang begitu saja ke lingkungan (BLH Gresik, 2011).

Permasalahan utama yang sering dihadapi pada pengoperasian TPA adalah timbulnya lindi dan gas (Sanphoti *et al.*, 2006). Hal ini hampir sama dengan kondisi di TPA Ngipik. Pengolahan sampah di TPA Ngipik dirancang menggunakan sistem *sanitary landfill*, kemudian berubah menjadi *controlled landfill*. Akan tetapi saat ini TPA Ngipik beroperasi menggunakan sistem *open dumping*. Lindi yang dihasilkan oleh sampah di TPA Ngipik diolah menggunakan unit *Anaerobic Bafle Reactor* (ABR) namun tidak berjalan sebagai mana mestinya.

Inovasi yang dapat dikakukan untuk meningkatkan kapasitas operasional dan kinerja pengolahan di TPA Ngipik adalah dengan merubah sistem *open dumping* menjadi bioreaktor *landfill*. Berbeda dengan sistem *open dumping* yang tanpa pengolahan, bioreaktor *landfill* menggunakan proses mikrobiologi untuk mendekomposisi sampah. Resirkulasi lindi merupakan bagian penting pada pengolahan menggunakan sistem bioreaktor *landfill*. Menurut Pacey *et al.* (1999) bioreaktor *landfill* adalah sebuah konsep yang mampu meningkatkan dekomposisi sampah secara signifikan.

Bioreaktor *landfill* dapat menurunkan kandungan bahan organik pada lindi yang diresirkulasikan (He *et al.*, 2006). Bioreaktor anaerobik merupakan metode yang paling sering digunakan untuk mengolah sampah di TPA (Sawatdeenarunat, 2008).

Lindi merupakan salah satu limbah dengan konsentrasi organik cukup tinggi yang terbentuk sebagai akibat dari proses degradasi dan kelembaban sampah serta perkolasi air hujan dalam sampah (Mahmoudkhani *et al.*, 2011). Karakteristik dan komposisi lindi bergantung pada proses biologi dan kimia yang terjadi selama degradasi sampah, komposisi sampah, kepadatan curah hujan, laju perkolasi air tanah dan usia TPA (He *et al.*, 2005, Mahmoudkhani *et al.*, 2011). Resirkulasi lindi dapat meningkatkan proses biodegradasi sampah dan produksi gas metan ( $\text{CH}_4$ ) disamping mencegah lindi keluar menuju lingkungan. Resirkulasi lindi dapat mempercepat proses degradasi sampah karena di dalam lindi terkandung bakteri yang bersifat aktif. Pada proses resirkulasi lindi terjadi distribusi nutrisi dan enzim yang dapat mempercepat proses degradasi, pengenceran senyawa penghambat, daur ulang dan distribusi metanogen, serta penyangga pH (Bilgili *et al.*, 2007). Selain itu, resirkulasi lindi dapat mempersingkat waktu yang digunakan untuk stabilisasi sekitar 2 – 3 tahun sehingga dapat memperpanjang umur pakai TPA (Sponza dan Agdag, 2004). Resirkulasi lindi dapat mempercepat proses stabilisasi TPA dengan perbandingan 30 – 50 hari lebih cepat dibandingkan tanpa resirkulasi lindi (Wang *et al.*, 2006). Menurut Hao *et al.* (2008) komposisi gas yang dihasilkan dari proses resirkulasi lindi adalah sebesar 58 % untuk  $\text{CH}_4$  dan 41 % untuk gas  $\text{CO}_2$ . Tchobanoglous *et al.* (1993) menyatakan bahwa komposisi gas yang biasanya dihasilkan di TPA terdiri dari  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_4$ , dan  $\text{H}_2$ .

Selain dengan menggunakan resirkulasi lindi, proses degradasi sampah juga dapat dipercepat dengan menambahkan bioaktivator. Bioaktivator adalah campuran dari beberapa spesies mikroorganisme pengurai materi organik yang telah

diisolasi, dioptimasi dan dikemas dalam berbagai bentuk dan berada dalam kondisi inaktif (Sulistiyawati *et al.*, 2008). Beberapa macam jenis biaktivator untuk mempercepat degradasi sampah yang sering digunakan salah satunya adalah EM4. Penggunaan EM4 dapat mempercepat dekomposisi bahan organik yang mengandung mikroba seperti *Lactobacillus* sp, *Streptomyces*, dan ragi (Hastuti, 2009).

Menurut Nuryani *et al.* (2002) bioaktivator berfungsi untuk meningkatkan kecepatan dekomposisi sampah dan meningkatkan kualitas produk akhir dari kompos. Proses degradasi sampah menggunakan bioaktivator dapat berlangsung lebih cepat yakni sekitar 4 minggu (Mirwan dan Rosariawan, 2012). Namun, proses degradasi sampah juga bisa dihambat dengan adanya inhibitor seperti ammonia, salinitas, sulfida, dan logam berat. Terkait dengan proses degradasi, jika kandungan salinitas pada lindi yang disirkulasikan cukup tinggi, maka laju degradasi akan semakin menurun (Al-kaabi, 2007).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Arofah (2012) dan Ni'am (2013) kandungan salinitas lindi TPA Ngipik adalah sebesar 2,5 ppt pada musim penghujan dan 6,01 ppt pada musim kemarau. Kandungan salinitas tersebut dapat dikatakan cukup tinggi mengingat konsentrasi 6,01 ppt berada pada rentang kondisi *mesohaline* (Bugler *et al.*, 1993). Posisi wilayah Kabupaten Gresik yang berdekatan dengan laut memungkinkan wilayah ini terkena dampak intrusi air laut. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh He *et al.* (2005) bahwa perbedaan lokasi penimbunan sampah dapat menghasilkan komposisi dan karakteristik lindi dan gas yang berbeda. Resirkulasi lindi bersalinitas dapat mempengaruhi proses degradasi dimana salinitas berperan sebagai *inhibitor* dalam proses degradasi sampah (Marton *et al.*, 2012).

Penelitian ini mengkaji mengenai laju degradasi sampah, pembentukan gas dan kesetimbangan massa bahan organik dengan adanya resirkulasi lindi bersalinitas dan penambahan bioaktivator di TPA Ngipik, Gresik. Kesetimbangan massa

bahan organik dapat diketahui dengan nilai COD yang terkandung dalam lindi (Petchsri *et al.*, 2006). Pada penelitian ini digunakan bioreaktor sebagai simulasi kondisi di TPA pada kondisi anaerobik.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut, terdapat beberapa rumusan masalah yang mendasari penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh resirkulasi lindi bersalinitas dan penambahan EM4 terhadap laju degradasi sampah ?
2. Bagaimana pengaruh resirkulasi lindi bersalinitas penambahan EM4 terhadap pembentukan dan komposisi gas dengan adanya resirkulasi lindi bersalinitas ?
3. Bagaimanakah kesetimbangan massa (*mass balance*) sampah dengan adanya resirkulasi lindi bersalinitas ?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh resirkulasi lindi bersalinitas dan penambahan EM4 terhadap degradasi sampah.
2. Menganalisis pengaruh penambahan bioaktivator terhadap pembentukan gas dengan adanya proses resirkulasi lindi bersalinitas.
3. Menganalisis kesetimbangan massa (*mass balance*) sampah dan komposisi gas dengan adanya proses resirkulasi lindi bersalinitas.

### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian ini terbatas pada suatu ruang lingkup yang terdiri dari :

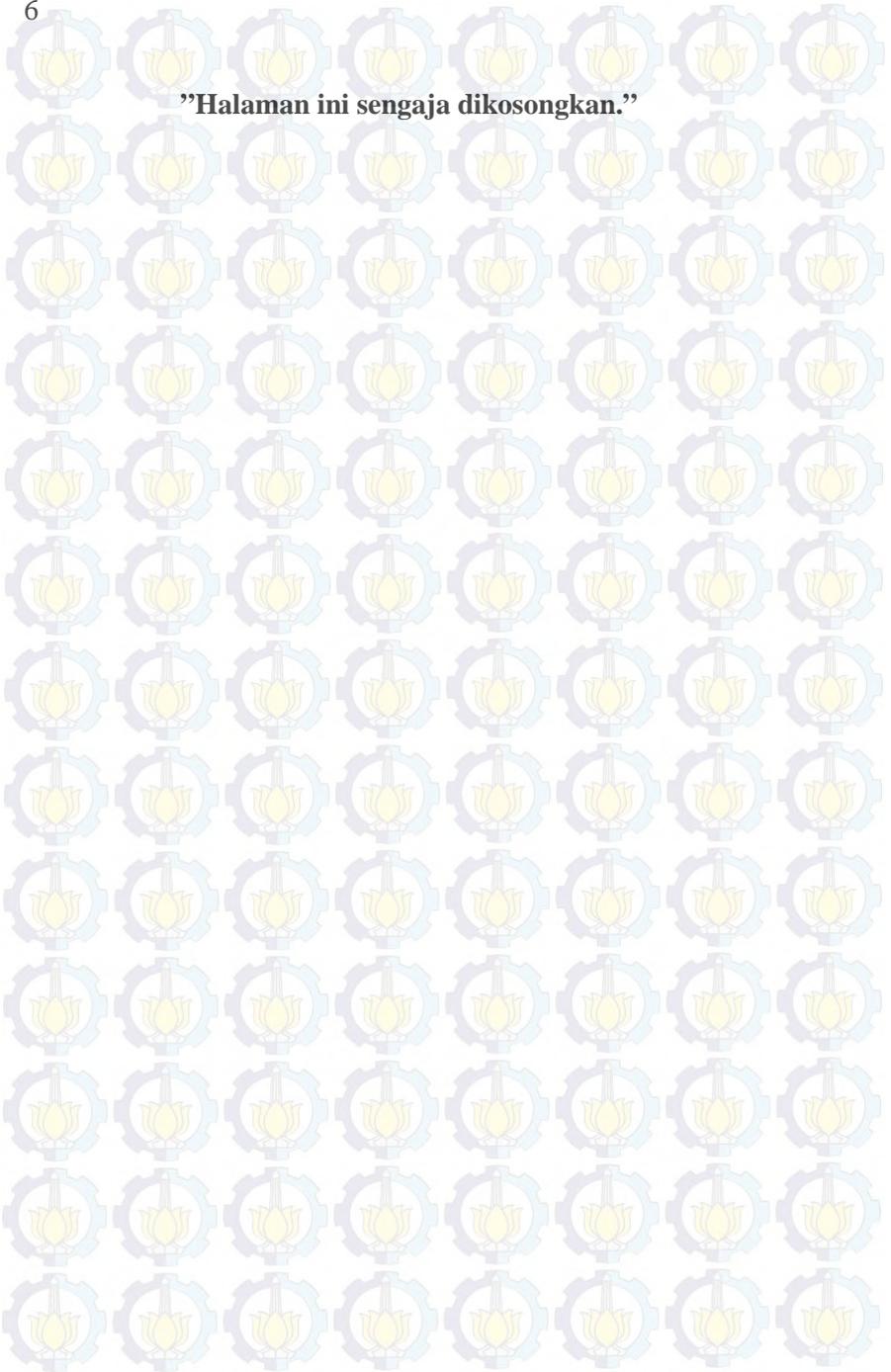
1. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2014 hingga Juni 2014.
2. Lokasi pengambilan lindi dan sampah adalah TPA Ngipik, Gresik.

3. Variabel yang digunakan pada penelitian ini menggunakan perbedaan salinitas dan campuran bioaktivator EM4.
4. Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah BOD, COD, pH dan salinitas.
5. Analisis pembentukan dan komposisi gas dilakukan di Laboratorium Energi, ITS.
6. Analisis kualitas lindi dan parameter sampah dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Lingkungan, ITS.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi dan masukan mengenai pengelolaan sampah sehingga dapat memaksimalkan umur pakai TPA. Selain itu, hasil dari penelitian ini juga dapat menjadi informasi untuk merencanakan pengembangan pengelolaan sampah TPA Ngipik, Gresik.

**"Halaman ini sengaja dikosongkan."**



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Komposisi dan Karakteristik Sampah

Sampah yang ditimbun di TPA terdiri dari berbagai komposisi dan karakteristik. Komposisi sampah menentukan karakteristik kimia. Karakteristik kimia sampah berfungsi sebagai penentu metode pengolahan yang akan digunakan. Berdasarkan pendekatan empiris, terdapat tiga jenis analisis yang dapat dilakukan untuk memprediksi faktor – faktor yang berpengaruh terhadap nilai hasil proses pemanasan. Tiga jenis analisis tersebut meliputi komposisi fisik dan kimia, analisis *proximate* dan analisa *ultimate* (Thiphkhunthod *et al.*, 2005). Sampah memiliki tiga macam karakteristik, yaitu fisik, kimia dan biologi.

##### 1. Karakteristik fisik sampah

Karakteristik fisik sampah dapat diketahui dengan menganalisis densitas sampah, kandungan air, ukuran partikel, kapasitas lahan dan permeabilitas sampah.

###### a. Densitas sampah

Densitas sampah dibutuhkan untuk menganalisis timbulan sampah yang dinyatakan dari hasil perbandingan berat terhadap volume. Satuan densitas adalah  $\text{kg/m}^3$ . Pengukuran densitas sampah dipengaruhi oleh kondisi geografis, musim dan lama penimbunan (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Terdapat dua macam densitas, yakni densitas lepas dan densitas terkompaksi.

###### b. Kelembaban (*moisture content*)

Kelembaban sampah biasanya ditentukan dengan dua metode. Metode pertama adalah metode pengukuran berat basah dimana kelembaban sampah dinyatakan dalam persentase berat basah. Metode kedua adalah metode pengukuran terhadap berat kering yang menyatakan kelembaban sampah dalam bentuk

persentase berat kering (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Kelembaban sampah dapat diukur menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut. Berat kering yang digunakan adalah berat yang didapat setelah sampah mengalami pemanasan pada suhu 105 °C.

$$\text{Kelembaban} = \frac{\text{berat basah} - \text{berat kering}}{\text{berat basah}} \times 100 \% \dots 2.1$$

c. Ukuran partikel

Ukuran partikel adalah faktor penting dalam proses *recovery* sampah. Ukuran sampah yang semakin kecil menandakan bahwa luas permukaan sampah juga kecil. Proses dekomposisi sampah akan lebih mudah dilakukan jika sampah berada dalam kondisi telah tercacah.

d. Kapasitas lahan (*field capacity*)

Kapasitas lahan adalah volume air yang dapat dipertahankan oleh sampah agar tidak merembes keluar. Kapasitas lahan sampah merupakan faktor penting dalam pembentukan lindi (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Besar kapasitas lahan bervariasi sesuai dengan tekanan dan proses dekomposisi sampah.

e. Permeabilitas

Konduktivitas hidraulik dalam sampah merupakan salah satu karakteristik fisik yang mempengaruhi pergerakan cairan dan gas dalam *landfill*. Permeabilitas bergantung pada sifat dan karakteristik sampah seperti ukuran distribusi partikel, jenis permukaan sampah, dan porositas (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

## 2. Karakteristik kimia sampah

Karakteristik kimia diperlukan sebagai informasi penting untuk mengetahui alternatif pengolahan sampah yang akan digunakan. Karakteristik kimia sampah dapat diketahui dengan melakukan analisis *proximate*, analisis

*ultimate*, titik lebur abu dan potensi kandungan energi yang tersimpan dalam sampah.

- a. *Proximate analysis*, digunakan untuk menentukan besar presentase kelembaban, kandungan *volatile* dan kandungan arang (*fixed karbon*) (Thipkhunthod *et al.*, 2005). Data tipikal analisis *proximate* untuk beberapa tipe sampah ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Tabel 2. 1 Data Analisis Proximate untuk Beberapa Jenis Sampah

Jenis Sampah	Analisa <i>Proximate</i> (% berat)			
	Kelembaban	<i>Volatile matter</i>	Arang ( <i>fixed carbon</i> )	Tidak terbakar
Sampah makanan (campuran)	110	21,4	3,6	5
Sampah kertas (sampuran)	10,2	75,9	8,4	5,4
Sampah plastik (campuran)	0,2	95,8	2	2
Sampah tekstil	10	66	17,5	6,5
Sampah halaman (tanaman)	60	30	9,5	0,5
Logam dan kaca	2	-	-	96 – 99

Sumber : Tchobanoglous *et al.*, 1993.

- b. *Ultimate analysis* meliputi besar persentase kandungan karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S) dan abu. (Thipkhunthod *et al.*, 2005. Hasil yang diperoleh dari analisis ini

digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia bahan organik yang terdapat dalam sampah. Selain itu, juga dapat menentukan campuran sampah yang tepat sehingga didapatkan rasio C/N yang sesuai untuk proses konversi biologis. Tabel 2.2 menunjukkan data analisis *ultimate* pada sampah (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Tabel 2. 2 Data Analisis Ultimate Pada Sampah

Jenis Sampah	Analisa <i>Proximate</i> (% berat)					
	C	H	O	N	S	Ash
Sampah makanan (campuran)	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Sampah kertas (sampuran)	43,4	5,8	44,3	0,3	0,2	6
Sampah plastik (campuran)	60	7,2	22,8	-	-	10
Sampah tekstil	48	6,4	40	2,2	0,2	3,2
Sampah halaman (tanaman)	46	6	38	3,4	0,3	6,3
Logam dan kaca	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	90,5

Sumber : Tchobanoglous *et al.*,1993.

- c. Titik lebur abu didefinisikan sebagai suhu dimana abu yang dihasilkan dari proses pembakaran sampah akan menjadi padat (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Titik lebur abu juga digunakan sebagai parameter untuk menentukan kapasitas pembakaran insinerator.
- d. Potensi kandungan energi dalam sampah dapat diketahui dengan menggunakan *bomb calorimeter*. Potensi kandungan energi dinyatakan dalam satuan Btu/lb yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 berat kering dan 2.3 berdasarkan berat kering tanpa abu.

$$\text{Btu/lb} = \left( \frac{100}{100 - \text{berat basa h}} \right) \times 100 \% \quad \dots 2.2$$

$$\text{Btu/lb} = \left( \frac{100}{100 - \text{berat basa h} - \text{berat abu}} \right) \times 100 \% \quad \dots 2.3$$

(1 kJ = 1 Btu/lb x 1,0551 )

### 3. Karakteristik biologis

Karakteristik biologi sampah pada dasarnya adalah komponen yang menyusun bahan organik sampah selain plastik, kulit, dan karet. Karakteristik biologis sampah terdiri dari (Tchobanoglous *et al.*, 1993) :

- a. Unsur yang mudah larut dalam air seperti gula, karbohidrat, asam amino, dan asam organik lain.
- b. Hemiselulosa, merupakan produk kondensasi dari karbon yang berantai lima dan enam.
- c. Selulosa, merupakan produk kondensasi dari karbon yang berantai enam.
- d. Lemak, minyak, dan bahan yang tergolong dalam kategori ester dari alkohol dan asam lemak rantai panjang.
- e. Lignin, merupakan salah satu unsur yang susah diurai oleh bakteri.
- f. Lignoselulosa, merupakan kombinasi antara lignin dan selulosa.
- g. Protein, terbentuk dari rantai asam amino.

#### 2.2. Reaksi yang Terjadi di TPA

Penimbunan sampah di TPA dalam waktu yang cukup lama menimbulkan berbagai macam reaksi baik reaksi fisik, kimia, maupun biologis. Berbagai reaksi yang terjadi tersebut pastinya akan menimbulkan dampak. Salah satu reaksi utama yang terjadi dalam timbunan sampah adalah reaksi degradasi sampah yang akan menghasilkan efek samping sebagai hasil.

### 1. Reaksi biologi

Reaksi biologi utama yang terjadi di *landfill* adalah reaksi pembentukan gas dan lindi. Reaksi biologi melibatkan dua macam reaksi pada kondisi yang berbeda yakni reaksi aerobik dan anaerobik. Reaksi aerobik pada tahap pertama menghasilkan gas  $\text{CO}_2$ . Setelah oksigen digunakan dalam reaksi aerobik akan terjadi kondisi kekurangan oksigen sehingga reaksi berjalan secara anaerobik. Pada reaksi anaerobik, dihasilkan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{S}$  (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

### 2. Reaksi kimia

Reaksi kimia penting yang terjadi di *landfill* meliputi penguraian, suspensi, dan produk konversi biologis melalui (Tchobanoglous *et al.*, 1993) :

- perkolasi cairan
- evaporasi dan penguapan senyawa kimia dan air menjadi gas
- penyerapan *volatile* dan semi *volatile* senyawa organik
- dekomposisi senyawa organik
- reaksi oksidasi-reduksi pada logam dan kelarutan garam logam

Reaksi kimia lainnya juga terjadi dengan melibatkan senyawa organik tertentu dan tanah penutup. Sebagai akibat dari reaksi tersebut adalah berubahnya struktur dan permeabilitas dari lapisan penutup.

### 3. Reaksi fisik

Perpindahan lindi dan gas merupakan hal yang terjadi secara fisik pada proses yang terjadi di TPA. Perpindahan gas pada lingkungan dapat terjadi karena rusaknya lapisan penutup. Kerusakan pada lapisan penutup dapat menyebabkan perkolasi air dalam sampah yang berakibat meningkatnya produksi gas. Perpindahan lindi ke dalam tanah dapat mencemari tanah sekaligus air tanah. Perpindahan lindi memungkinkan untuk membawa senyawa

dan material yang bersifat karsinogenik ke dalam tanah dimana mereka dapat lebih mudah bereaksi.

### 2.3. Proses Degradasi Anaerobik Sampah

Proses degradasi sampah secara anaerobik adalah proses reaksi kimia pada bahan organik melalui fermentasi anaerob dan aktivitas bakteri pengurai yang menghasilkan metana, karbondioksida, hidrogen, nitrogen dan hidrogen sulfida (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Kecepatan penguraian sampah secara anaerobik berjalan lebih lambat jika dibandingkan dengan kecepatan penguraian secara aerobik. Hal ini dikarenakan pada proses penguraian aerobik terdapat  $O_2$  yang berfungsi sebagai aseptor yang membantu memecahkan molekul zat organik. Kelemahan proses degradasi anaerobik adalah timbulnya bau yang disebabkan oleh terbentuknya gas  $H_2S$  melalui reaksi kimia sebagai berikut (Tchobanoglous *et al.*, 1993).



Pada proses degradasi anaerob, mikroorganisme berperan sebagai aseptor dan donor elektron. Bagan proses degradasi anaerob secara sederhana ditunjukkan pada Gambar 2.1 Proses degradasi secara anaerob secara umum terdiri dari 4 tahap, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetonogenesis dan metanogenesis.

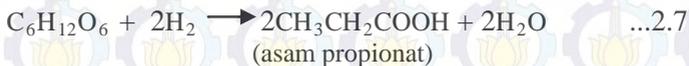
#### 1. Tahap Hidrolisis

Proses yang terjadi pada tahap ini adalah penguraian senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa organik kompleks yang diurai tersebut berupa protein, lemak dan karbohidrat. Penguraian yang terjadi meliputi penguraian lipid menjadi gliserol dan asam lemak berantai panjang, protein menjadi peptida dan asam amino, dan karbohidrat menjadi monosakarida. Protein dihidrolisis oleh enzim protease dan peptidase, sedangkan lemak dihidrolisis oleh

enzim lipase yang dihasilkan dari hasil ekskresi bakteri *Clostridium*.

## 2. Tahap Asidogenesis

Tahap asidogenesis merupakan tahapan dimana terjadi penguraian bahan hasil hidrolisis mejadi bahan organik yang lebih sederhana seperti asam propionat, asam butirat, asam laktat, asam format, etanol, keton, karbondioksida dan hidrogen. Bakteri yang berperan pada proses asidogenesis adalah bakteri fakultatif anaerob. Tahap asidogenesis merupakan fase transisi dari aerobik menjadi anaerobik. Pada fase ini terjadi penurunan pH yang mengakibatkan terlarutnya logam berat. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah :



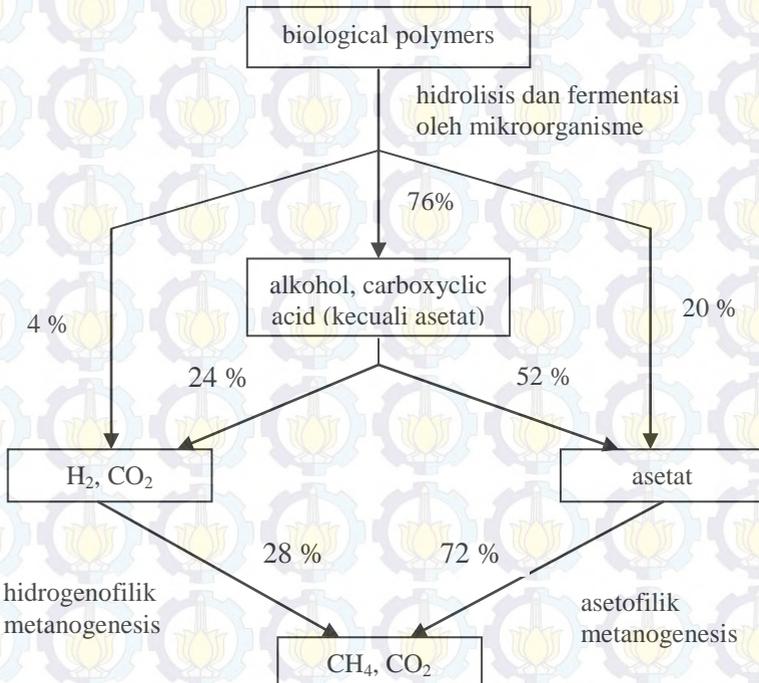
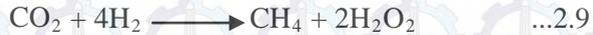
## 3. Tahap Asetogenesis

Tahap asetogenesis merupakan tahap pembentukan senyawa asetat, karbondioksida dan hidrogen. bakteri yang digunakan pada proses perubahan hidrogen dan karbondioksida menjadi asam asetat adalah bakteri asetogen.

## 4. Metanogenesis

Tahap metanogenesis merupakan tahap utama dalam proses degradasi anaerobik. Pada tahap ini karbon dioksida direduksi menjadi metana dan air, sedangkan asam asetat dikonversi menjadi metana dan karbondioksida. Bakteri metanogen bersifat mesofilik yang dapat bertahan hidup pada suhu 20°C – 40°C. White

*et al.* (2004) mengungkapkan mekanisme reaksi yang terjadi pada tahap ini yaitu :



Gambar 2. 1 Proses Degradasi Anaerob

Sumber : David, 1993.

Proses degradasi sampah akan menyebabkan perubahan pada komposisi sampah terutama perubahan secara fisik dan kimia. Perubahan sampah secara fisik dapat dilihat dengan penurunan volume dan massa sampah, sedang perubahan sampah secara kimia dapat diketahui melalui perubahan kandungan COD, total asam organik, amoniak, pH dan konduktivitas. Tabel 2.3

menunjukkan konsentrasi parameter kimia setelah terjadi proses degradasi sampah.

Tabel 2. 3 Parameter Kimia Pada Tahap Degradasi Sampah

Parameter	Tahap II (Transisi)	Tahap III (Asidifikasi)	Tahap IV (Metanogenesis)	Tahap V (Maturasi)
COD (mg/L)	480 – 18.000	1.500 – 71.000	580 – 9.760	31 – 900
Total asam organik (mg/L)	100 – 3.000	3.000 – 18.800	250 – 4.000	0
Amoniak (mg/L)	120 - 125	2 – 1.030	6 - 430	6 – 430
pH	6 -7	4,7 – 6,2	6,3 – 8,2	7,1 – 8,8
Konduktivitas ( $\mu$ S/cm)	2.450 – 3.310	1.600 – 17.100	2.900 – 7.1100	1.400 – 4.500

Sumber : Vesilind *et al.*, 2002.

#### 2.4. Komposisi dan Karakteristik Lindi yang Dihasilkan di TPA

Lindi dapat didefinisikan sebagai cairan hasil dekomposisi sampah yang dipengaruhi oleh curah hujan dan perkolasi air tanah (Arasan dan Yetimoglu, 2008). Karakteristik kimia yang dimiliki oleh lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pada penelitiannya, Renou *et al.* (2008) menyebutkan bahwa faktor - faktor yang dapat mempengaruhi komposisi lindi adalah iklim, presipitasi, karakteristik sampah dan umur *landfill*. Konsentrasi lindi yang dihasilkan pada musim kemarau bernilai dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan konsentrasi lindi yang dihasilkan saat musim hujan (Kawai *et al.*, 2009). Terjadinya perkolasi air hujan dalam *landfill* dapat menguraikan unsur-unsur yang ada dalam lindi sehingga konsentrasi lindi pun menurun.

Secara umum, kandungan lindi terbagi dalam beberapa kelompok senyawa organik karbon, senyawa nitrogen, senyawa organik xenobiotik, anion dan beberapa logam (Lee *et al.*, 2010;

Arasan dan Yetimoglu, 2008). Besar konsentrasi lindi tergantung pada proses dekomposisi sampah yang terdiri dari reaksi fisik, kimia dan biologis. Lindi yang dihasilkan oleh TPA biasanya mengandung BOD dengan konsentrasi yang tinggi, COD, *total organic carbon* (TOC), *total ammonical nitrogen* ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), anion seperti ( $\text{Cl}^-$  dan  $\text{SO}_4^{2-}$ ), kation seperti  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  dan logam berat (Cheng *et al.*, 2011). Selain itu parameter lain yang dapat menggambarkan karakteristik lindi menurut Renou *et al.* (2008) adalah rasio BOD/COD, pH, *suspended solid* (SS) dan *total Kjeldahl nitrogen* (TKN). Adanya ion – ion yang terkandung dalam lindi dapat meningkatkan kandungan *total dissolved solid* (TDS) pada lindi (Arbain *et al.*, 2003). Pada umumnya, lindi memiliki pH yang bersifat sedikit basa berkisar mulai 5,8 – 8,5 yang terjadi akibat adanya aktivitas biologis (Renou *et al.*, 2008).

Perubahan tingkat biodegradasi pada lindi dapat diprediksi melalui rasio  $\text{BOD}_5/\text{COD}$ . Pada umumnya, rasio  $\text{BOD}_5/\text{COD}$  yang terdapat dalam lindi berkisar antara 0,4 – 0,6. Rentang ratio tersebut menyatakan bahwa senyawa organik yang terdapat dalam lindi bersifat *biodegradable* (Tchobanoglous *et al.*, 1993). *Effluent* lindi dari proses dekomposisi anaerobik diperkirakan memiliki kandungan COD sebesar  $>1000 \text{ g/L}$  (Sun *et al.*, 2011). Karakteristik lindi berdasarkan umur *landfill* ditunjukkan pada Tabel 2.4. Resirkulasi lindi dapat merubah kualitas *effluent* lindi di *landfill* yang ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 4 Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur Landfill

Parameter	Nilai (mg/L)	
	<i>Landfill</i> < 2 tahun	<i>Landfill</i> > 10 tahun
$\text{BOD}_5$	2000 - 30000	100 - 200
COD	3000 - 60000	100 - 500
TSS	200 – 2000	100 - 400
$\text{NH}_3$	10 – 800	20 - 40

Parameter	Nilai (mg/L)	
	<i>Landfill</i> < 2 tahun	<i>Landfill</i> > 10 tahun
pH	4,5 - 7,5	6,6 - 7,5
Kalsium	200 – 3000	100 - 400
Magnesium	50 – 1500	50 - 200
Potassium	200 – 1000	50 - 400
Klorida	200 – 3000	100 - 400
Sulfate	50 – 1000	20 - 50
Besi	50 – 1200	20 - 200

Sumber : Tchobanoglous *et al.*, 1993.

Tabel 2. 5 Karakteristik Lindi Menggunakan Sistem Resirkulasi Lindi

Parameter	Satuan	Fase Asidifikasi (6 bulan – 2 tahun)	Fase Methanogenesis (2 tahun – 100 tahun)
pH	-	5 – 6,5	7,5 – 9
COD	mg/L	20.000 – 30.000	1.500 – 2.000
BOD	mg/L	10.000 – 25.000	500 – 1.000
Fe	mg/L	5 - 20	<5
Zn	mg/L	1 - 5	0,03 – 1
Cd	mg/L	< 30	6
NH <sub>3</sub>	mg/L	900 – 1.500	900 – 1.500
Cl-	mg/L	1.200 – 3.000	1.000 – 3.000

Sumber : Vaidya, 2002.

## 2.5. Komposisi dan Karakteristik Gas yang Dihasilkan di TPA

Gas yang dihasilkan di TPA merupakan hasil sampingan proses degradasi sampah secara anaerobik. Gas yang terbentuk di TPA terdiri dari ammonia (NH<sub>3</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), hidrogen (H<sub>2</sub>), hidrogen sulfida (H<sub>2</sub>S), metana (CH<sub>4</sub>), nitrogen (N<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>). Pada

dasarnya komponen utama gas yang dihasilkan sebagai hasil proses degradasi anerobik senyawa organik adalah karbon dioksida dan metana. Metana dan karbondioksida merupakan produk utama dekomposisi anaerobik pada sampah. Komposisi gas di TPA dijelaskan dalam Tabel 2.6, sedangkan karakteristik gas di TPA dijelaskan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2. 6 Komposisi Gas Dihasilkan di TPA

Komponen	Rumus Kimia	Komposisi (% berdasarkan berat kering)
Metana	$\text{NH}_3$	45 – 60
Karbon dioksida	$\text{CO}_2$	40 – 60
Nitrogen	$\text{CO}$	2 – 5
Oksigen	$\text{H}_2$	0,1 – 1
Sulfida, disulfida, merkaptan	$\text{H}_2\text{S}$	0 – 1
Ammonia	$\text{CH}_4$	0,1 – 1
Hidrogen	$\text{N}_2$	0 – 0,2
Karbon monoksida	$\text{O}_2$	0 – 0,2
Gas lain		0,01 – 0,6

Sumber : Tchobanoglous *et al.*, 1993.

Tabel 2. 7 Karakteristik Gas Ditimbulkan di TPA

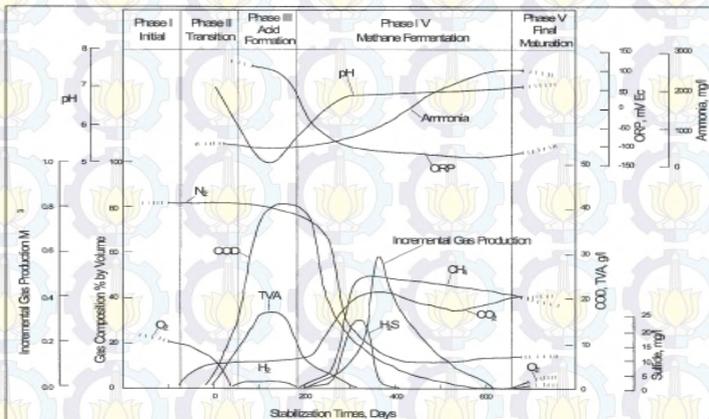
Komponen	Nilai
Suhu ( $^{\circ}\text{F}$ )	100 – 120
<i>Specific gravity</i>	1,02 – 1,06
Kadar air	Saturasi

Sumber : Tchobanoglous *et al.*, 1993.

## 2.6. Produksi Gas di TPA

Gas merupakan salah satu hasil dari proses dekomposisi senyawa organik yang terkandung dalam sampah secara anaerobik. Besarnya produksi gas dapat diketahui dengan menggunakan metode stoikiometri. Metode stoikiometri

bergantung pada lengkap atau tidaknya proses biodegradasi sampah yang terjadi. Selain dari reaksi stoikiometri, kondisi lokasi *landfill* memberikan efek yang cukup penting dalam kecepatan dan produksi gas. Gas terbentuk setelah melewati lima fase pembentukan seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Fase Pembentukan Gas di Landfill  
Sumber : Pohland *et al.*, 1996.

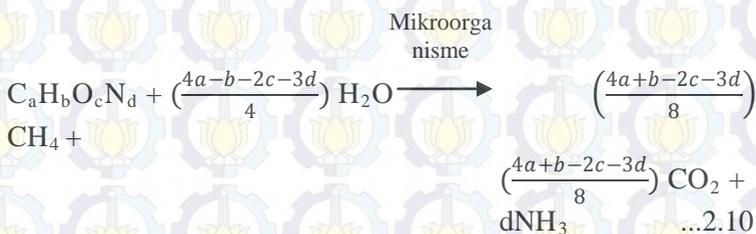
Fase pertama merupakan tahap adaptasi dimana, proses dekomposisi terjadi secara aerobik. Hal ini disebabkan oleh terperangkapnya udara dalam timbunan. Fase kedua disebut dengan fase transisi. Pada fase ini, kadar oksigen mulai menurun dan mulai tercipta kondisi anaerobik. Kondisi anaerobik menyebabkan perubahan nitrat dan sulfat sebagai akseptor elektron menjadi gas nitrogen dan hidrogen sulfida. Terjadi penurunan pH pada lindi yang disebabkan karena terbentuknya asam organik dan meningkatnya konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam *landfill*.

Fase ketiga merupakan fase yang mengalami tiga tahap pemecahan senyawa organik menjadi karbon dioksida dan gas metana. Tahap pertama pada fase ini adalah hidrolisis. Proses hidrolisis merupakan proses pemecahan senyawa organik menjadi senyawa sederhana yang dapat diurai oleh bakteri. Senyawa

organik yang diurai terdiri dari lemak, polisakarida, protein dan asam nukleat. Tahap kedua adalah tahap asidogenesis yang merupakan tahap dimana terjadi konversi senyawa sederhana oleh mikroba menjadi asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) dan asam organik yang lebih kompleks. Karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) merupakan prinsip terjadinya tahap ketiga. Gas hidrogen juga terbentuk pada tahap ini namun berada dalam konsentrasi yang rendah. Konsentrasi  $\text{BOD}_5$ , COD dan konduktivitas akan meningkat selama proses pelarutan asam organik dalam lindi. Penurunan pH menyebabkan terlarutnya logam berat pada lindi dan banyak nutrisi yang hilang.

Fase empat merupakan fase dimana terjadi konversi asam asetat dan gas hidrogen menjadi  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  oleh bakteri metanogenesis. Terbentuknya gas  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  meningkatkan pH sekitar 6,8 – 8. Sebaliknya, Konsentrasi  $\text{BOD}_5$ , COD dan konduktivitas akan mengalami penurunan. Fase ke lima adalah fase stabilisasi. Laju produksi gas pada fase ini akan berkurang drastis karena sebagian nutrisi yang tersedia telah terlarut lindi dan substrat yang tersisa sangat lambat untuk terdegradasi. Pada fase ini juga akan ditemukan nitrogen dan oksigen dalam konsentrasi yang sangat kecil. Selama fase stabilisasi, lindi akan mengandung asam fulvat yang sulit untuk didegradasi.

Volume gas terbentuk selama proses dekomposisi anaerobik dapat diperkirakan melalui beberapa cara. Jika diasumsikan sampah memiliki rumus kimia  $\text{C}_a\text{H}_b\text{O}_c\text{N}_d$ , maka volume gas dapat diprediksi menggunakan persamaan reaksi 2.10 (Tchobanoglous *et al.*, 1993).



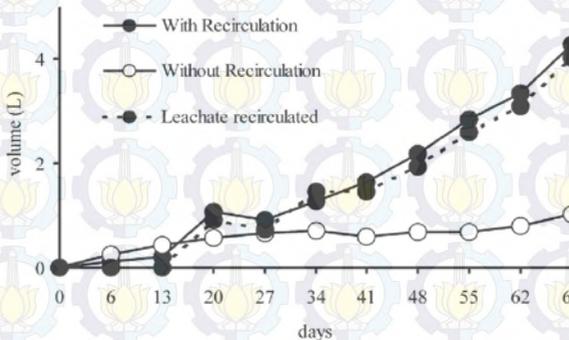
## 2.7. Sistem Resirkulasi Lindi

Resirkulasi lindi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengolah lindi. Pengolahan lindi menggunakan resirkulasi lindi merupakan salah satu metode yang murah dan aman. Pada dasarnya, resirkulasi lindi bertujuan untuk mengedarkan kembali faktor yang mempengaruhi dekomposisi sampah seperti kelembaban, nutrisi dan mikroorganisme aktif dalam rangka menciptakan lingkungan bagi mikroba (Petchsri *et al.*, 2004). Resirkulasi lindi dapat diartikan sebagai penggunaan kembali lindi yang dihasilkan. Pada umumnya, lindi yang dihasilkan dikumpulkan dalam satu tempat kolam penampungan. Resirkulasi lindi membawa unsur – unsur yang akan diuraikan oleh reaksi kimia maupun biologi.

Keuntungan yang diperoleh dari sistem resirkulasi lindi adalah proses degradasi sampah yang berjalan lebih cepat dan peningkatan produksi gas metana (Francois *et al.*, 2007, Petchsri *et al.*, 2004). Resirkulasi lindi dapat meningkatkan kelembaban dalam sampah (Benbelkacem *et al.*, 2010). Kadar air merupakan faktor yang dapat menumbuhkan mikroorganisme sebagai pengurai sehingga proses degradasi sampah dapat berjalan lebih cepat (Loncnar *et al.*, 2010). Waktu yang dibutuhkan bakteri untuk mendegradasi berpengaruh pada waktu untuk menstabilkan *landfill*. Resirkulasi lindi dapat mempercepat proses stabilisasi TPA dengan perbandingan 30 – 50 hari lebih cepat dibandingkan tanpa resirkulasi lindi (Wang *et al.*, 2006). Volume lindi yang dihasilkan dari proses resirkulasi lindi lebih besar jika dibandingkan dengan tanpa proses resirkulasi lindi yang dapat dilihat pada Gambar 2. 3.

Produksi gas metana dan karbon dioksida dapat meningkatkan pH pada fase metanogenesis (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Resirkulasi lindi dapat meningkatkan produksi biogas yang meliputi  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  dengan perbandingan antara  $\text{CH}_4$  yang terbentuk dengan COD lindi dinyatakan dalam persamaan  $\text{COD} = 2,63 \times \text{VCH}_4$  (Francois *et al.*, 2007). Produksi gas

berjalan optimum pada kelembaban sekitar 40 % - 50 % dan produksi terendah pada kondisi kelembaban 12 % (Ham, 1994).



Gambar 2. 3 Perbandingan Volume Lindi dengan Resirkulasi dan Tidak Resirkulasi  
Sumber : Chan *et al.*, 2002.

Selain itu, resirkulasi lindi dapat menurunkan kandungan logam berat yang tersimpan dalam sampah karena terjadi penurunan nilai pH (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Penurunan logam berat disebabkan terjadinya proses reduksi – oksidasi komposisi sampah dan terlarutnya ion logam. Kualitas *effluent* lindi yang dihasilkan merupakan gambaran dari penurunan konsentrasi bahan organik dan anorganik lindi. Kekurangan metode sistem resirkulasi lindi adalah dibutuhkannya kolam penampung lindi yang lebih besar dikarenakan resirkulasi lindi dapat meningkatkan produksi lindi. Menurut Chan *et al.* (2002) resirkulasi lindi dapat mempercepat proses dan meningkatkan volume pembentukan lindi dibandingkan dengan tanpa resirkulasi.

## 2.8. Bioaktivator EM4 (*Effective Microorganism 4*)

Bioaktivator merupakan mikroorganisme pengurai materi organik yang telah diisolasi dan dioptimasi, dan terdapat dalam keadaan inaktif (Suistyawati, 2008). EM4 adalah kultur

campuran mikro yang terdiri dari bakteri *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Streptomyces*, ragi jamur dan bakteri fotosintetik yang bekerja saling menunjang dalam dekomposisi bahan organik. Proses dekomposisi bahan organik dengan molekul EM4 berlangsung secara fermentasi baik dalam keadaan aerob maupun anaerob (Sanjaya dan Puspita, 2010). Kandungan mikroorganisme utama dalam EM4 adalah :

1. Bakteri Fotosintetik

Bakteri bersifat mandiri dan swasembada, membentuk senyawa bermanfaat (antara lain, asam amino, asam nukleik, zat bioaktif dan gula yang semuanya berfungsi mempercepat pertumbuhan) dari sekresi akar tumbuhan, bahan organik dan gas-gas berbahaya dengan sinar matahari dan panas bumi sebagai sumber energi. Terdapat dua jenis bakteri fotosintetik yaitu bakteri hijau dan ungu. Jenis bakteri ini merupakan bakteri bebas yang dapat mensintesis senyawa nitrogen, gula dan substansi bioaktif lain.

2. Bakteri asam laktat ( *Lactobacillus*, sp. )

Bakteri asam laktat dapat mengakibatkan kemandulan mikroorganisme yang merugikan, oleh karena itu bakteri ini dapat menekan pertumbuhan, meningkatkan percepatan perombakan bahan organik, menghancurkan bahan organik seperti lignin dan selulosa serta memfermentasikannya tanpa menimbulkan senyawa beracun yang ditimbulkan dari pembusukan bahan organik. Bakteri laktat merupakan bakteri gram positif yang tidak membentuk spora dan berfungsi menguraikan bahan organik dengan fermentasi.

3. Ragi / Yeast (*Saccharomyces*, sp.)

Melalui proses fermentasi, ragi menghasilkan senyawa bermanfaat bagi pertumbuhan tanaman dari asam amino dan gula yang dikeluarkan oleh bakteri fotosintetik atau bahan organik dan akar-akar tanaman. Ragi juga menghasilkan zat-zat bioaktif seperti hormon dan enzim untuk meningkatkan jumlah sel aktif dan perkembangan akar. Sekresi Ragi adalah substrat yang baik bakteri asam laktat dan *Actinomyces*.

#### 4. Actinomycetes, sp.

Jenis *Actinomycetes*, sp. bergantung pada tipe tanah, karakteristik fisik, kadar bahan organik dan pH lingkungan (Kanti, 2005). Jumlah *Actinomycetes*, sp. meningkat dengan adanya bahan organik yang mengalami dekomposisi. Temperatur yang sesuai untuk pertumbuhan *Actinomycetes*, sp. adalah  $25^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ , tetapi pada suhu  $55^{\circ}\text{C} - 65^{\circ}\text{C}$  *Actinomycetes*, sp. masih dapat tumbuh dalam jumlah yang cukup besar.

Proses penguraian yang dilakukan oleh EM4 merupakan kemampuan bakteri untuk mendegradasi komponen sampah yang dapat mencegah timbulnya bau (Kusuma, 2012). Fungsi EM4 diantaranya adalah :

- Mempercepat fermentasi limbah dan sampah organik.
- Meningkatkan aktivitas mikroorganisme indogenus yang menguntungkan seperti *Rhizobium sp.*, *Mycorrhiza sp.*
- Meningkatkan nitrogen
- Menekan pertumbuhan patogen tanah
- Mengurai lignin dan selulosa

### 2.9. Laju Degradasi Sampah dan Reaksi Kinetiknya

Laju degradasi sampah dapat diperkirakan dengan dua cara yaitu menganalisis kandungan COD pada sampah dan menganalisis kandungan COD pada lindi dan biogas.

#### 1. Analisis pada sampah

Hubungan antara aktifitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik bersifat linier dan dapat diperkirakan dari kandungan nilai COD pada sampah. Semakin besar nilai COD pada sampah menandakan semakin banyak bahan organik yang terdegradasi maka laju degradasi pun semakin besar.

#### 2. Analisis pada lindi dan biogas yang terbentuk

Kandungan nilai COD lindi meningkat pada fase – fase awal resirkulasi. Peningkatan nilai COD dikarenakan bahan organik diubah menjadi asam volatil gas dan  $\text{H}_2$ . Asam

volatile dan gas H<sub>2</sub> kemudian akan diubah menjadi gas CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> yang menyebabkan menurunnya nilai COD (Bhambulkar, 2011). Hal ini menunjukkan bahwa kandungan nilai COD pada lindi berbanding terbalik dengan laju degradasi sampah. Semakin besar laju degradasi sampah, maka nilai COD yang ada pada lindi akan semakin menurun.

Laju reaksi proses degradasi sampah akan menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi stabil. Abu dan Alsheraideh (2008) menyatakan bahwa laju reaksi degradasi sampah mengikuti kinetika laju reaksi orde satu. Laju reaksi dinyatakan sebagai laju berkurangnya pereaksi atau laju bertambahnya suatu produk. Salah satu faktor yang dapat mempercepat laju reaksi adalah konsentrasi.

Suatu reaksi dikatakan berorde satu terhadap salah satu pereaksinya jika laju reaksi berbanding lurus dengan konsentrasi pereaksi. Jika konsentrasi pereaksi dilipatgandakan, maka laju reaksi juga akan menjadi dua kali lebih besar. Laju reaksi dinyatakan dalam bentuk ( $\pm$ ) dimana peningkatan laju dinyatakan dalam (+) dan penurunan laju dinyatakan dalam (-) pada interval waktu (t). Peningkatan konsentrasi dinyatakan dalam (+dS/dt) dan penurunan konsentrasi dinyatakan dalam (-dS/dt). Laju degradasi sampah dinyatakan dari penurunan konsentrasi, sehingga persamaan reaksi yang digunakan bernilai (-). Persamaan yang digunakan dalam orde satu adalah (Tomei *et al.*, 2008) :

$$-dS/dt = k.S \quad \dots 2.11$$

$$- \int_{S_0}^S \frac{dS}{S} = k \int_0^t dt \quad \dots 2.12$$

$$-(\ln S - \ln S_0) = kt \quad \dots 2.13$$

$$-k = \ln (S/S_0) / (t-t_0) \quad \dots 2.14$$

## 2.10. Salinitas sebagai Inhibitor

Salinitas adalah jumlah mineral yang terlarut dalam air. Salinitas dinyatakan dalam satuan berat garam per liter air laut

(g/L), *part per thousand* (‰, ppt) atau *practical salinity unit* (psu). Lim *et al.* (2008) mengemukakan bahwa salinitas tidak memberi efek pada proses hidrolisis dan pembentukan asam, namun menghambat aktivitas bakteri dalam melakukan proses penguraian. Efek salinitas pada proses degradasi sampah dapat diukur melalui kandungan COD, karakteristik biogas yang dihasilkan dan produksi gas metana (Olguin dan Forster, 2010).

Loncnar *et al.* (2010) meneliti bahwa lindi dapat dikatakan bersalinitas jika memiliki ion pottasium (K<sup>+</sup>), sodium (Na<sup>+</sup>) dan klorida (Cl<sup>-</sup>). Klorida menghambat aktivitas bakteri sehingga dapat menurunkan kandungan COD. Selain itu, menurut Marton *et al.* (2012) dan Supparattanapan *et al.* (2009) kandungan salinitas yang tinggi dapat menurunkan pembentukan gas metana. Konsentrasi klorida yang terkandung dalam lindi sebagai parameter *non-biodegradable* berkisar antara 6.100 – 6.900 mg/L setelah 120 hari dan akan stabil pada konsentrasi 6.600 mg/L setelah 250 hari (Bilgili *et al.*, 2007).

Ion klorida dapat mempengaruhi proses *plasmolisis* pada dinding sel mikroorganisme karena mikroorganisme memiliki kemampuan yang berbeda terhadap *osmoregulasi* dalam perubahan osmotik lingkungan eksternalnya (Nurhayati, 2013). Semakin tinggi konsentrasi ion klorida, maka *plasmolisis* pada dinding mikroorganisme juga akan semakin besar sehingga dapat menyebabkan kematian.

Mangkoediharjo (2005), menyatakan bahwa salinitas dapat diperkirakan dengan menentukan perbandingan nilai klorida yang terukur pada suatu sampel air. Perbandingan nilai klorida dan salinitas dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S (\%) = 1,805 \times Cl (\%) + 0,03 \dots 2.15$$

Besar konsentrasi salinitas yang terkandung dalam air, menyebabkan karakteristik air yang berbeda – beda. Bugler *et al.*, (1993) mengklasifikasikan air berdasarkan nilai salinitasnya yang ditunjukkan pada Tabel 2.8.

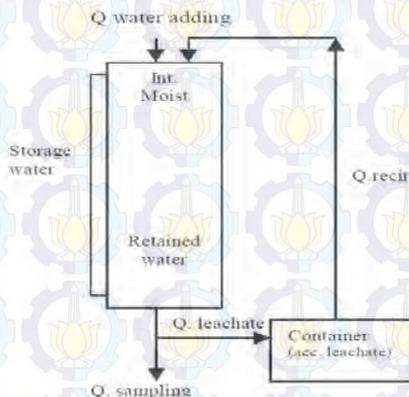
Tabel 2. 8 Klasifikasi Air Berdasarkan Kandungan Salinitas

Kondisi	Salinitas (ppt)
<b>Air tawar</b>	
Fresh water	< 0,5
Oligohaline	0,5 – 3, 0
<b>Air payau</b>	
Mesohaline	3,0 – 16,0
Polyhaline	16,0 – 30,0
<b>Air Laut</b>	
Marine	30,0 – 40,0

Sumber : Bugler *et al.*, 1993.

### 2.11. Kesenjangan Massa dalam Proses Degradasi Sampah

Pada proses resirkulasi lindi, terdapat keseimbangan debit antara cairan yang dimasukkan, diserap dan dikeluarkan sebagai lindi. Besar debit cairan yang dimasukkan secara tidak langsung akan mempengaruhi proses degradasi bahan organik yang dilaluinya. Kesenjangan air dalam reaktor simulasi ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Diagram Kesenjangan Air  
Sumber : Petchsri *et al.*, 2004.

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui keseimbangan air water menggunakan persamaan sebagai berikut (Petchsri *et al.*, 2004).

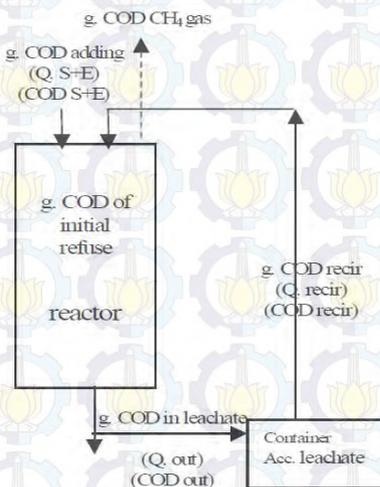
$$\text{Water input} = \text{water output} + \text{storage water} \quad \dots 2.16$$

$$Q_{\text{water adding}} + Q_{\text{initial moisture}} + Q_{\text{recirculation}} = Q_{\text{leachate}} + Q_{\text{storage}} \quad \dots 2.17$$

$$\text{Storage water} = (Q_{\text{water adding}} + Q_{\text{initial moisture}} + Q_{\text{recir.}})_{\text{day } n-1} - Q_{\text{lindi}}_{\text{day } n} \quad \dots 2.18$$

Proses degradasi sampah mengubah sampah dari bentuk padatan menjadi organik terlarut di dalam lindi dan terkonversi menjadi biogas. Diagram keseimbangan massa dalam COD ditunjukkan pada Gambar 2.5.

Perbandingan antara massa COD sampah awal dengan massa COD lindi dapat digunakan untuk memperkirakan persentase sampah yang terdekomposisi. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui keseimbangan massa pada proses dekomposisi sampah menggunakan persamaan sebagai berikut (Petchsri *et al.*, 2004).



Gambar 2. 5 Diagram Keseimbangan Massa  
Sumber : Petchsri *et al.* (2004)

Keterangan :

S+E = sludge and effluent from UASB wastewater treatment plant

$$\text{gr COD}_{\text{leach out}} = \text{gr COD}_{\text{leachate}} + \text{g COD}_{\text{converted to CH}_4} \quad \dots 2.19$$

$$\text{gr COD}_{\text{leachate}} = (\text{Q}_{\text{out}} \times \text{COD}_{\text{out}}) - (\text{Q}_{\text{recir}} \times \text{COD}_{\text{recir}}) - (\text{Q}_{\text{S+E}} \times \text{COD}_{\text{S+E adding}}) \quad \dots 2.20$$

$$\text{dimana, } 1 \text{ mL CH}_4 = 1/350 \text{ gr COD} \quad \dots 2.21$$

$$\% \text{ waste decomposition} = \frac{\text{total gr COD leach out}}{\text{gr COD of initial refuse}} \times 100 \% \quad \dots 2.22$$

## 2.12. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu berfungsi sebagai referensi dalam pelaksanaan dan pembahasan. Berbagai penelitian yang berhubungan dengan resirkulasi lindi, pengaruh salinitas dan penambahan bioaktivator telah dilakukan. Tabel 2.9 menunjukkan beberapa penelitian terdahulu yang terkait.

Tabel 2. 9 Penelitian Terdahulu yang Pernah Dilakukan

No	Sumber	Hasil Penelitian
1	Xing <i>et al.</i> (2013)	Resirkulasi lindi perlu diterapkan pada daerah yang memiliki musim kemarau lebih panjang dan bersifat kering. Resirkulasi lindi meningkatkan jumlah produksi gas yang terbentuk. Diperlukan pengelolaan terhadap gas yang dihasilkan oleh <i>landfill</i> sebagai penyeimbang proses resirkulasi lindi.
2	Nurhayati, 2013	Resirkulasi lindi bersalinitas memberi pengaruh terhadap komposisi gas yang dihasilkan. Semakin tinggi salinitas maka semakin besar persentase gas yang tidak dapat terdeteksi. Selain itu resirkulasi lindi mempengaruhi laju degradasi sampah. Semakin tinggi salinitas, nilai laju degradasi sampah semakin menurun.
3	Mali <i>et al.</i>	Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan

No	Sumber	Hasil Penelitian
	(2012)	biodegradasi dan produksi metana dari sampah di TPA. Digunakan dua kelompok dengan total jumlah reaktor sebanyak lima buah. Parameter operasional pada penelitian ini meliputi penambahan kultur mikroba aerobik dan anaerobik, kerikil, tanah penutup dan variasi debit lindi. Melalui parameter tersebut, diketahui bahwa waktu degradasi berkurang sebesar 25 %. Produksi biogas dianalisis menggunakan <i>gas chromatography</i> .
6	Sudibyo (2011)	Resirkulasi lindi bersalinitas berpengaruh terhadap produksi gas metana, laju degradasi sampah dan kualitas <i>effluent</i> lindi. Semakin besar beban salinitas yang diresirkulasikan, maka semakin kecil <i>yield</i> yang dihasilkan.
5	Abu dan Alsheraideh, 2008	Laju reaksi proses degradasi sampah akan menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi stabil. Percobaan ini menggunakan <i>lysimeter</i> pada kondisi mesofilik dan termofilik dengan resirkulasi lindi. Hasil analisis menunjukkan laju reaksi degradasi sampah mengikuti kinetika laju reaksi orde satu. Kondisi optimal untuk degradasi sampah pada suhu 38°C dan kelembaban sekitar 65 %.
6	Francois <i>et al.</i> (2007)	Penelitian bertujuan untuk menentukan dampak dari resirkulasi lindi pada degradasi sampah. Parameter yang digunakan pada penelitian ini meliputi COD, asam volatil, alkalinitas, konduktivitas dan potensi produksi gas. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah resirkulasi lindi dapat mempercepat proses degradasi dan meningkatkan produksi gas.

### 2.13. Gambaran Umum TPA Ngipik Gresik

TPA Ngipik merupakan satu – satunya TPA yang dimiliki oleh pemerintah Kabupaten Gresik saat ini. TPA Ngipik beroperasi pada tahun 2002 dengan luas lahan total sebesar 6 ha. Kapasitas lahan yang telah digunakan untuk penimbunan sampah saat ini mencapai 80 % dengan luas lahan  $\pm$  4 ha dan tinggi tumpukan mencapai 4 m. Sisa luas lahan sebesar 2 ha digunakan sebagai sarana dan prasarana penunjang kegiatan di TPA. Kondisi TPA saat ini sudah mulai mengalami *overload* dengan luas lahan pembuangan tersisa 1 ha dan umur pemakaian TPA diperkirakan hanya tersisa 1 tahun.

Jumlah sampah yang terangkut dan dibuang di TPA Ngipik sekitar 624,72 m<sup>3</sup>/hari (187,42 ton/hari dengan berat jenis sampah lepas 300 kg/m<sup>3</sup>). Sampah yang masuk 624,72 m<sup>3</sup>/hari, 80 % (499,77 m<sup>3</sup>/hari) berasal dari timbunan rumah tangga dan fasilitas umum, 15 % (93,71 m<sup>3</sup>/hari) berasal dari industri, 5 % (31,24 m<sup>3</sup>/hari) merupakan sampah yang berasal dari sapuan jalan. Jika dilihat berdasarkan data pada Tabel 2.10, timbunan sampah total sebesar 699,38 m<sup>3</sup>/hari . Hal ini menunjukkan bahwa total sampah yang dibuang menuju TPA hanya sekitar 89 %.

Pada mulanya, TPA Ngipik didesain untuk menggunakan sistem pengolahan *sanitary landfill*. Adanya kendala kurangnya lapisan tanah penutup dan kurangnya luas lahan, menjadikan saat ini TPA Ngipik berjalan menggunakan sistem *controlled landfill*. Tabel 2.11 menunjukkan sarana dan prasarana di TPA Ngipik.

Tabel 2. 10 Daerah Pelayanan Sampah dan Timbulannya

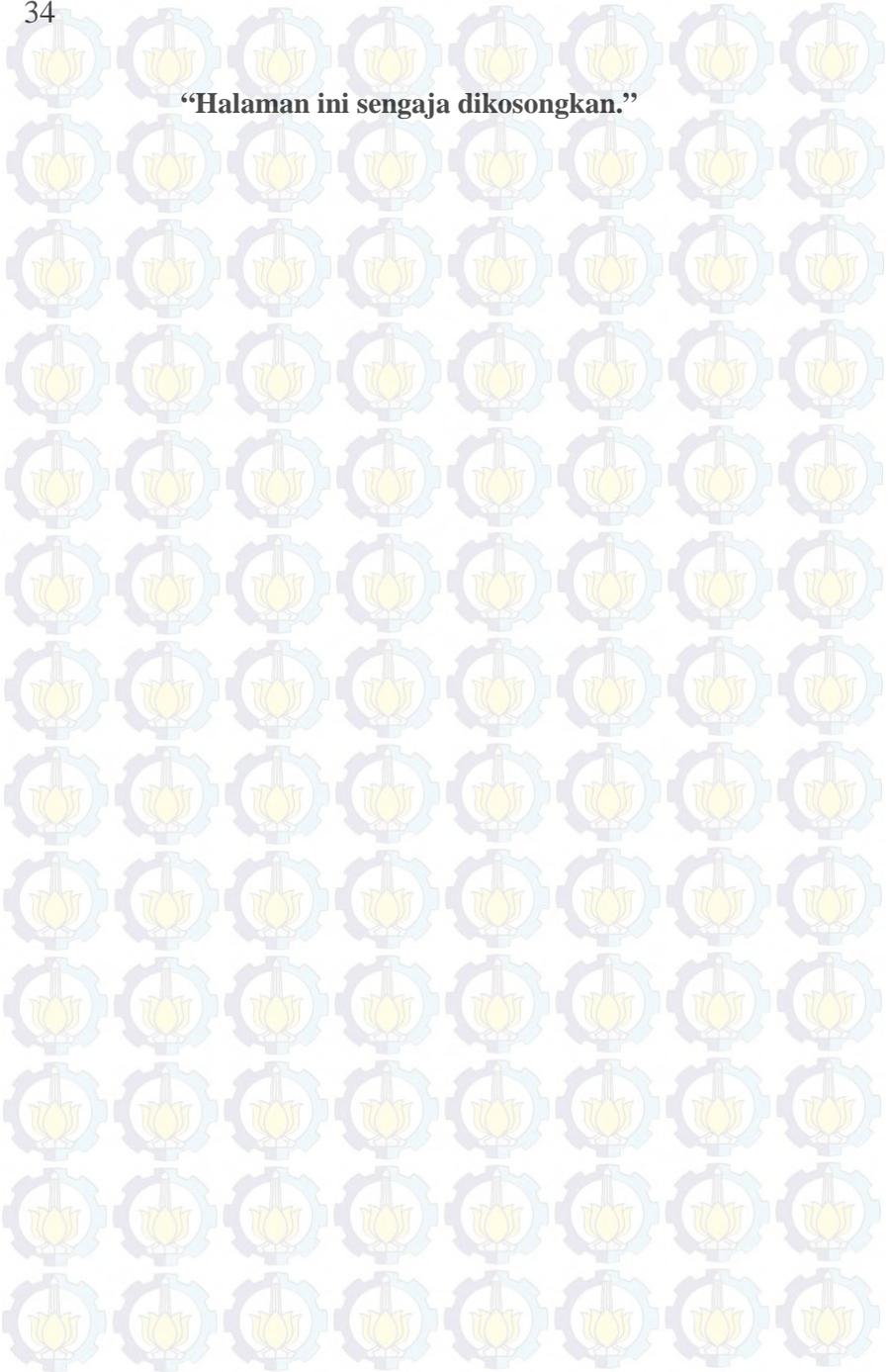
No	Nama Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Timbunan sampah (kg/jiwa.hari)	Timbunan sampah (m <sup>3</sup> /jiwa.hari)	Timbulan sampah (ton/hari)	Timbulan sampah (m <sup>3</sup> /hari)
1	Gresik	87.965	0,8	0,003	110,37	263.9

N o	Nama Kecamatan	Jumlah Penduduk (jiwa)	Timbulan sampah (kg/jiwa.h ari)	Timbulan sampah (m <sup>3</sup> /jiwa.h ari)	Timbul an sampah (ton/har i)	Timbul an sampah (m <sup>3</sup> /har i)
2	Kebomas	85.686	0,9	0,004	68,55	257.9
3	Manyar	30.847	0,10	0,005	24,68	92.54
4	Cerme	8.404	0,11	0,006	6,72	25.21
5	Duduksampe yan	8.623	0,12	0,007	6,90	25.87
6	Driyorejo	5.851	0,13	0,008	4,68	17.55
7	Benjeng	2.825	0,14	0,009	2,26	8.48
8	Bungah	2.642	0,15	0,010	2,11	7.93
TOTAL		232.843				699.38

Sumber : Laporan Pengelolaan Sampah Kabupaten Gresik, 2011

TPA Ngipik memiliki satu unit IPAL untuk mengolah lindi. IPAL tersebut berupa *Anaerobic Baffle Reactor* (ABR). IPAL yang ada tidak berfungsi sebagaimana mestinya, sehingga lindi yang dihasilkan hanya ditampung tanpa mengalami pengolahan. Selain itu TPA Ngipik juga memiliki empat buah sumur monitoring yang berfungsi untuk memantau kondisi air tanah di sekitar TPA sehingga terhindar dari pencemaran.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan.”**



## **BAB 3**

### **METODA PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh resirkulasi lindi bersalinitas terhadap laju degradasi sampah dan pembentukan gas. Degradasi sampah dapat menyebabkan perubahan komposisi sampah dan gas yang terbentuk, dimana laju penurunan degradasi sampah akan berbanding lurus dengan laju pembentukan gas. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah komposisi gas dan kesetimbangan massa (*mass balance*) sampah setelah terjadi proses degradasi dan pembentukan gas.

#### **3.1. Kerangka Pelaksanaan Penelitian**

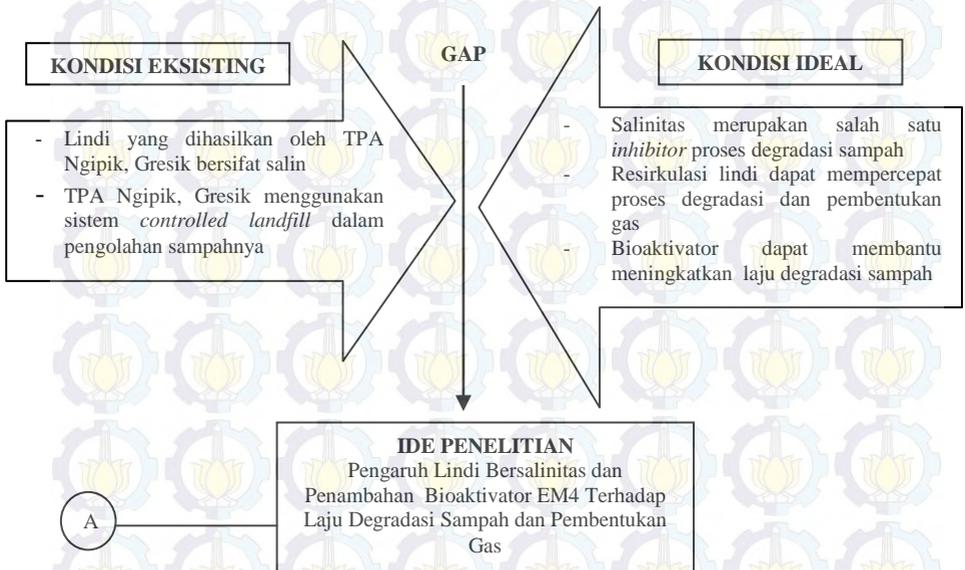
Kerangka penelitian merupakan gambaran dari seluruh rangkaian kegiatan untuk melaksanakan penelitian secara terstruktur dan sistematis. Kerangka penelitian dapat membantu terlaksananya penelitian yang sesuai dengan tujuan dan rumusan masalah yang ada. Selain itu, dengan adanya kerangka penelitian diharapkan dapat memperkecil kemungkinan kesalahan yang dapat terjadi dalam penelitian.

Pelaksanaan penelitian ini dimulai dengan adanya permasalahan yang kemudian memunculkan ide penelitian dengan tujuan untuk mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan. Studi literatur sangat diperlukan untuk mendukung pelaksanaan penelitian sehingga dapat menjawab permasalahan serta analisis data dan pembahasan. Gambar 3.1 merupakan kerangka pelaksanaan penelitian disertai dengan tahapan pelaksanaan penelitian.

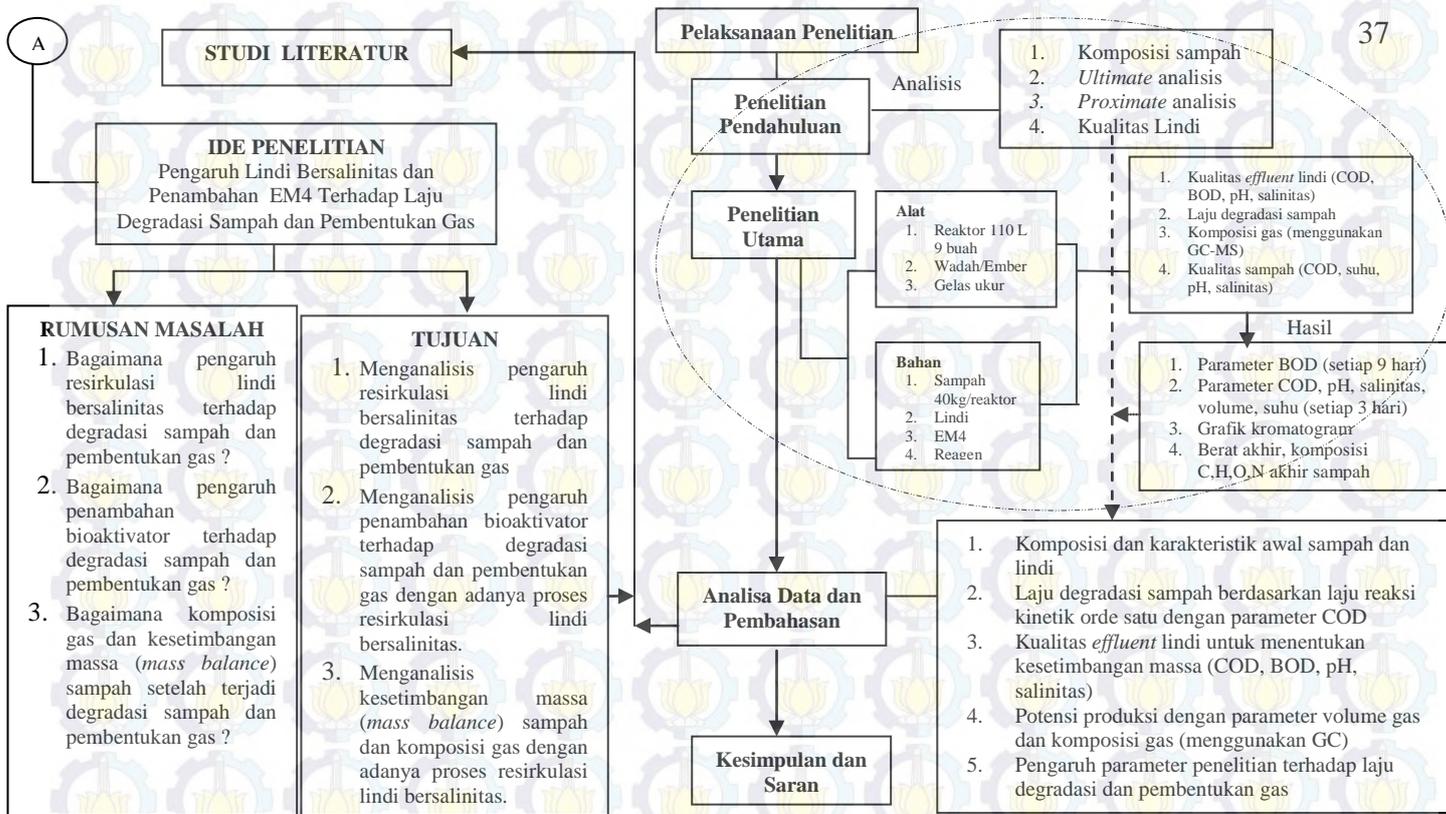
#### **3.2. Tahapan Pelaksanaan Penelitian**

Pelaksanaan penelitian ini diawali dengan adanya permasalahan sehingga memunculkan ide penelitian berdasarkan pada literatur. Rumusan masalah dan tujuan akan dijawab dengan pelaksanaan penelitian. Pada penelitian ini

terdapat dua tahap penelitian, yakni penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan tujuan memperoleh data komposisi dan karakteristik awal sampah dan lindi dimana data tersebut akan digunakan pada penelitian utama. Penelitian utama dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh data *time series* untuk tiap parameter. Hasil dari masing – masing penelitian akan digunakan untuk melakukan analisis data dan pembahasan yang kemudian dapat ditarik kesimpulan. Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan pertimbangan sesuai dengan studi literatur.



Gambar 3. 1 Kerangka Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.1 Lanjutan Kerangka Pelaksanaan Penelitian

### 3.2.1. Ide Penelitian

Ide penelitian diperoleh karena adanya gap antara kondisi eksisting dan kondisi ideal yang seharusnya. Hal yang mendasari pelaksanaan penelitian ini adalah ditemukannya lindi bersalinitas di TPA Ngipik, Gresik. Berdasarkan literatur, salinitas merupakan salah satu *inhibitor* proses degradasi. Jumlah volume sampah yang masuk ke TPA Ngipik, Gresik bertambah setiap harinya. Kondisi ini tidak seimbang dengan luas TPA Ngipik, Gresik yaitu sekitar  $\pm 4$  ha. Oleh karena itu, diperlukan suatu cara untuk mengatasi kondisi ini melalui resirkulasi lindi.

Resirkulasi lindi dapat mempercepat proses degradasi sampah secara anaerobik sehingga dapat memaksimalkan umur pakai TPA. Selain itu, resirkulasi lindi juga dapat menurunkan kadar organik dan logam berat yang terkandung dalam sampah. Penambahan bioaktivator EM4 pada penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap degradasi sampah menggunakan resirkulasi lindi bersalinitas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh resirkulasi lindi bersalinitas dan penambahan bioaktivator EM4 terhadap degradasi sampah dan pembentukan gas, mengidentifikasi komposisi sampah serta kesetimbangan massa (*mass balance*) sampah setelah terjadi degradasi sampah dan pembentukan gas. Pada penelitian ini digunakan simulasi reaktor yang menggambarkan komposisi sampah TPA Ngipik, Gresik dengan perbandingan ketinggian tertentu. Reaktor simulasi ini mewakili tumpukan sampah yang ada di TPA yang akan diinjeksikan bioaktivator EM4 dan resirkulasi lindi dengan konsentrasi salinitas tertentu.

### 3.2.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori – teori yang menunjang pelaksanaan penelitian. Literatur yang digunakan pada pelaksanaan penelitian ini diantaranya

adalah *text book*, jurnal penelitian, artikel, *website*, dan sebagainya. Literatur yang dapat menunjang pelaksanaan penelitian ini adalah literatur mengenai resirkulasi lindi, pembentukan gas di TPA, komposisi dan karakteristik lindi di TPA, salinitas sebagai *inhibitor* proses degradasi, proses degradasi anaerobik dalam sampah, penambahan bioaktivator EM4 dan literatur lain yang terkait dengan pelaksanaan penelitian ini. Secara tidak langsung, studi literatur dapat menjadi batasan sejauh mana pengerjaan penelitian sehingga dapat mempermudah pelaksanaan penelitian.

### 3.2.3. Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian meliputi persiapan alat dan bahan. Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah reaktor dengan kapasitas 110 L, kantong plastik sebagai alat pengukur produksi gas, kassa dan wadah/ember sebagai penampung lindi. Bahan yang dibutuhkan untuk pelaksanaan penelitian adalah sampah dan lindi yang berasal dari TPA Ngipik, bioaktivator EM4 dan reagen – reagen yang diperlukan dalam analisis parameter.

#### 1. Persiapan Reaktor Sampah

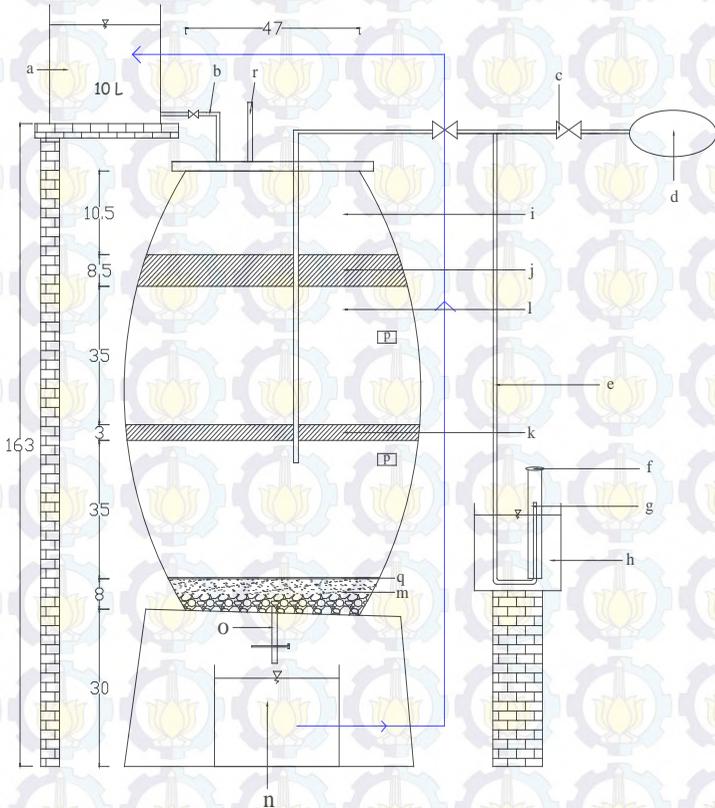
Reaktor sampah terbuat dari drum berkapasitas 110 L dilengkapi dengan penutup yang terbuat dari bahan plastik. Reaktor ini memiliki diameter sepanjang  $\pm 37$  cm dan tinggi mencapai  $\pm 110$  cm. Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 9 buah yang terdiri dari :

1. 1 reaktor kontrol tanpa perlakuan tanpa resirkulasi.
2. 2 reaktor tanpa bioaktivator EM4, dengan variasi salinitas, resirkulasi lindi.
3. 2 reaktor tanpa bioaktivator EM4, dengan variasi salinitas, tanpa resirkulasi lindi.
4. 4 reaktor dengan variasi salinitas dan bioaktivator EM4, resirkulasi lindi.

Reaktor dioperasikan secara anaerobik dengan resirkulasi lindi dan penambahan bioaktivator EM4. Reaktor pada penelitian ini merupakan rangkaian alat yang terdiri dari drum berkapasitas 110 L, bak penampung *effluent* lindi, bak penampung stok lindi, serangkaian alat untuk menangkap dan mengukur produksi gas.

Reaktor dilengkapi dengan pipa PVC berdiameter 1/2 inchi yang dipasang pada bagian tengah reaktor mulai dasar hingga menembus penutup. Pipa ini berguna sebagai penangkap gas. Gas yang terbentuk disalurkan melewati selang yang diletakkan sepanjang pipa hingga menembus penutup. Selang ini dihubungkan dengan alat pengukur kecepatan produksi gas yaitu plastik dan gelas ukur untuk mengetahui jumlah produksi gas tiap harinya. Pada bagian tutup reaktor, dipasang pipa berdiameter 1/2 inchi sebagai tempat mengukur suhu sampah. Kassa diletakkan di atas lapisan pasir dan kerikil yang berfungsi sebagai penyaring sampah agar tidak menghambat keluarnya lindi.

Pada bagian bawah reaktor dipasang *valve* dan pipa sebagai sarana keluarnya *effluent* lindi. *Effluent* lindi akan ditampung dalam sebuah wadah berukuran 10 L yang dilengkapi dengan *valve*. Resirkulasi lindi dilakukan menggunakan sistem *intermitten* (buka tutup) dengan terlebih dahulu mengukur debit yang keluar. Debit lindi yang keluar dari bak stok lindi diukur menggunakan prakiraan buka tutup *valve* hingga didapatkan debit lindi sebesar 240 mL/menit. Debit lindi yang diresirkulasikan adalah sebesar 240 mL/menit yang akan dialirkan selama 30 menit tiap harinya. Lindi yang diresirkulasikan ditampung dalam bak penampung berkapasitas 10 L yang terletak di atas drum. Rangkaian reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Rangkaian Reaktor Penelitian

Keterangan :

- a : bak penampung stok lindi, bervolume 10 L
- b : pipa penyalur lindi  $\varnothing$  1/2" berbahan PVC
- c : valve  $\varnothing$  1/2"
- d : plastik penangkap gas
- e : selang penangkap gas, berdiameter 1,5 cm
- f : gelas ukur, bervolume 1000 mL
- g : selang penangkap gas berdiameter 1,5 cm
- h : bak plastik, bervolume 10 L

i : *free board*

j : *final cover*, tebal lapisan penutup akhir secara teori menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) setebal 60 cm untuk tinggi 1 *lift* sampah sebesar  $\pm 2,5$  m. Pada penelitian ini digunakan perbandingan tinggi sehingga didapatkan tebal lapisan penutup akhir dalam reaktor setinggi 8,5 cm. Tanah penutup berupa *clay* yang memiliki tingkat permeabilitas berkisar antara  $1 \times 10^{-6}$  cm/detik hingga  $1 \times 10^{-7}$  cm/detik.

k : *daily cover*, tebal lapisan penutup harian secara teori menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) setebal 15 – 20 cm untuk tinggi 1 *lift* sampah sebesar  $\pm 2,5$  m. Pada penelitian ini digunakan perbandingan tinggi sehingga didapatkan tebal lapisan penutup harian dalam reaktor setinggi 3 cm. Tanah penutup berupa *clay* yang memiliki tingkat permeabilitas berkisar antara  $1 \times 10^{-6}$  cm/detik hingga  $1 \times 10^{-7}$  cm/detik.

l : sampah terkompaksi, dengan densitas  $400 \text{ kg/m}^3$ .

m: pasir dan kerikil.

n : bak penampung *effluent* lindi, bervolume 10 L.

o : pipa pengumpul lindi.

p : pipa sampling sampah.

q : kawat

r : termometer *sampling port*

→ resirkulasi lindi

## 2. Persiapan Sampah yang Digunakan

Sampah yang akan digunakan sebagai sampel diambil dari TPA Ngipik, Gresik. Lokasi pengambilan sampah dapat dilihat pada Gambar 3.3. Komposisi sampah akan dibuat sedemikian rupa mewakili komposisi sampah yang ada di TPA Ngipik, Gresik. Sampling sampah menggunakan metode sesuai dengan SNI 19-3964-1994 tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan. Sampling sampah dilakukan dengan mengambil sampah

dari beberapa truk sampah yang dicampur rata. Sampah yang telah tercampur rata dibagi menjadi empat bagian. Seperempat bagian tersebut diaduk hingga rata kemudian dibagi menjadi empat bagian. Proses ini dilakukan secara berulang hingga diperoleh 100 kg sampah. Setelah diperoleh 100 kg sampah, sampah dipilah sesuai dengan karakteristiknya. Hasil dari pemilahan sampah ini adalah data komposisi dan densitas sampah yang masuk ke TPA Ngipik, Gresik. Pemilahan sampah dilakukan selama delapan hari berturut – turut.

3. Persiapan Lindi yang Digunakan

Sampel lindi yang akan digunakan diambil dari kolam penampungan lindi TPA Ngipik, Gresik. Lokasi pengambilan sampel lindi dapat dilihat pada Gambar 3.3. Volume lindi yang disampling sebanyak 100 L. Volume lindi yang diambil disesuaikan dengan kebutuhan untuk resirkulasi 6 buah reaktor. Kebutuhan lindi yang akan diresirkulasikan didapat dengan mengalikan debit resirkulasi tiap menit dengan total waktu dibutuhkan untuk resirkulasi. Perhitungan kebutuhan lindi ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini.

Kebutuhan resirkulasi lindi (1 reaktor)

$$\begin{aligned} &= \text{debit resirkulasi per menit} \times \text{lama resirkulasi/hari} \\ &= 240 \text{ mL/menit} \times 30 \text{ menit/hari} \\ &= 7200 \text{ mL/hari} \\ &= 7,2 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Kebutuhan resirkulasi lindi (6 reaktor)

$$\begin{aligned} &= \text{kebutuhan/hari} \times \text{jumlah reaktor} \\ &= 7,2 \text{ L/hari} \times 6 \text{ reaktor} \\ &= 43,2 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

4. Persiapan Lapisan Tanah Penutup, Pasir dan Kerikil

Tanah penutup berfungsi sebagai penyerap lindi yang terbentuk dan menjaga kelembaban dan aliran gas.

Selain itu tanah sebagai lapisan penutup dapat mencegah timbulnya bau. Ketebalan tanah yang mewakili *daily cover soil* sebesar 3 cm dan ketebalan tanah yang mewakili *final cover soil* sebesar 8,5 cm. Lapisan tanah penutup menggunakan *clay* memiliki tingkat permeabilitas berkisar antara  $1 \times 10^{-6}$  cm/detik hingga  $1 \times 10^{-7}$  cm/detik (Thobanaglou *et al.*, 1993). Banyaknya tanah yang dibutuhkan disesuaikan dengan kebutuhan. Dilakukan uji permeabilitas pada lapisan tanah penutup terlebih dahulu untuk mendapatkan tingkat permeabilitas sebesar  $1 \times 10^{-6}$  cm/detik hingga  $1 \times 10^{-7}$  cm/detik. Uji permeabilitas dilakukan dengan mengalirkan air pada *clay* yang kemudian diukur menggunakan stopwatch.

Pasir dan kerikil berfungsi sebagai media mengalirnya lindi yang dihasilkan. Ketebalan pasir dan kerikil yang diletakkan dalam reaktor adalah 8 cm (Petschri *et al.*, 2006, Sanphoti *et al.*, 2007).

### 3.2.4. Penelitian Pendahuluan

Pada tahap ini, dilakukan analisis *ultimate*, *proximate*, dan kualitas lindi. Hasil analisis ini merupakan data awal yang selanjutnya akan digunakan untuk pelaksanaan penelitian utama. Analisis komposisi dan karakteristik sampah dilakukan di TPA Ngipik, Gresik. Analisis *ultimate* dilakukan di Laboratorium Manajemen Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, ITS. Analisis *proximate* dan kualitas lindi dilakukan di Laboratorium Pemuihan Air, Jurusan Teknik Lingkungan, ITS.

Analisis komposisi dan karakteristik sampah dilakukan dengan cara memilah sampah selama delapan hari berurut – turut di TPA Ngipik, Gresik. Analisis ini menggunakan metode sesuai dengan SNI 19-3964-1994 tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan. Sampling sampah dilakukan dengan mengambil sampah dari beberapa truk sampah yang dicampur

rata. Sampah yang telah tercampur rata dibagi menjadi empat bagian. Seperempat bagian tersebut diaduk hingga rata kemudian dibagi menjadi empat bagian. Proses ini dilakukan secara berulang hingga diperoleh 100 kg sampah.

Analisis *proximate* dilakukan untuk mengetahui kandungan *volatile solid* dan kadar air yang terkandung dalam sampah. *Volatile solid* dapat mempengaruhi kualitas lindi dan gas yang dihasilkan. Secara umum, analisis *proximate* menggunakan analisis gravimetri untuk mendapatkan kadar *volatile solid* dalam sampah. Analisis *proximate* dilakukan dengan cara memanaskan sampel sampah menggunakan *furnace* dengan suhu  $\pm 550$  °C selama 1 jam untuk menghilangkan kandungan *volatile solid*. Setelah dimasukkan ke dalam *furnace*, sampel dimasukkan ke dalam oven selama 15 menit dengan suhu 105°C. Proses ini dilakukan secara berulang hingga diperoleh berat yang konstan.

Analisis *ultimate* dilakukan untuk mendapatkan kandungan organik dalam sampah yang meliputi C (karbon), H (hidrogen), O (oksigen), N (nitrogen). Besar kandungan C, H, O dan N dapat menentukan rumus kimia sampah sebelum terjadi proses degradasi.

Analisis kualitas lindi menggunakan parameter salinitas, BOD, COD, pH, dan suhu. Lindi diperoleh dari kolam penampungan lindi di TPA Ngipik, Gresik. Penggunaan salinitas sebagai parameter dikarenakan salinitas merupakan faktor utama yang berhubungan dengan laju degradasi dan pembentukan gas. Analisa BOD, COD, pH dan salinitas dilakukan sesuai dengan prosedur *Standard Method for The Examination of Water and Wastewater* yang tertera pada Lampiran A. Analisis salinitas menggunakan *conductivitymeter* dengan prinsip analisis hampir sama dengan analisis pH. Prinsip analisis COD adalah *closed reflux* dengan menggunakan larutan  $K_2Cr_2O_7$  (kalium dikromat) sebagai oksidator.

### 3.2.5. Penelitian Utama

Penelitian utama merupakan kelanjutan dari penelitian pendahuluan. Setelah didapatkan hasil komposisi, karakteristik dan kualitas lindi, dilakukan tahap penyusunan komposisi dalam reaktor, aklimatisasi sampah dan lindi, pengoperasian reaktor, dan analisis parameter. Penelitian ini menggunakan variasi salinitas dan konsentrasi bioaktivator EM4.

#### 1. Penyusunan Komposisi Sampah dalam Reaktor

Komposisi sampah yang dimasukkan ke dalam reaktor sesuai dengan komposisi dan densitas sampah yang ada di TPA Ngipik, Gresik. Densitas sampah terkompaksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar  $400 \text{ kg/m}^3$  (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Ketebalan sampah yang akan dimasukkan ke dalam reaktor sebesar 30 cm sesuai dengan Gambar 3.2. Dua zona sampah dalam reaktor mewakili dua sel sampah pada TPA. Berat sampah yang dimasukkan ke dalam reaktor didapat dengan mengalikan volume reaktor dengan densitas sampah terkompaksi. Volume reaktor yang digunakan dalam perhitungan berat sampah merupakan volume tanpa pasir dan kerikil, tanah penutup dan *free board*. Perhitungan kebutuhan sampah ditunjukkan pada perhitungan di bawah ini.

$$\text{Volume reaktor} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$$

$$(1 \text{ reaktor}) = \frac{1}{4} \times \pi \times 47^2 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$$

$$= 104.096 \text{ cm}^3$$

$$= 0,1 \text{ m}^3$$

$$\text{Berat sampah} = \text{volume reaktor} \times \text{densitas sampah}$$

$$(1 \text{ reaktor}) = 0,1 \text{ m}^3 \times 400 \text{ kg/m}^3$$

$$= 40 \text{ kg}$$

$$\text{Berat sampah} = \text{berat sampah/reaktor} \times \text{jumlah reaktor}$$

$$(9 \text{ reaktor}) = 40 \text{ kg} \times 9 \text{ reaktor}$$

$$= 360 \text{ kg}$$

Sampah yang akan dimasukkan ke dalam reaktor dicacah terlebih dahulu. Pencacahan sampah dilakukan di rumah kompos Keputih. Pencacahan sampah bertujuan untuk mengurangi luas permukaan sampah yang akan didegradasi sehingga dapat mempercepat proses degradasi dan pembentukan gas. Ketebalan pasir dan kerikil yang diletakkan di dasar reaktor adalah 8 cm.

#### 2. Persiapan Lindi

Pada penelitian ini, lindi diambil dari kolam penampungan lindi di TPA Ngipik, Gresik sebanyak 100 L.

#### 3. Aklimatisasi Sampah dan Lindi

Sampah yang telah dicacah dan disusun dalam reaktor, diaklimatisasi selama 7 hari. Aklimatisasi bertujuan untuk menstabilkan kondisi mikroba dalam sampah dan lindi sebelum dilakukan resirkulasi lindi.

#### 4. Variabel Penelitian

Pelaksanaan penelitian menggunakan dua macam variabel, yakni variabel salinitas dan konsentrasi EM4. Debit resirkulasi lindi sebesar 240 mL/menit dimana resirkulasi lindi dilakukan selama 30 menit/hari. Penggunaan debit 240 mL/menit merupakan debit resirkulasi lindi yang optimum (Sudibyo, 2011; Nurhayati, 2012). Konsentrasi salinitas yang digunakan pada penelitian ini salinitas pada kondisi asli di lapangan dan kondisi ekstrem. Salinitas pada kondisi ekstrem diperoleh dari perkiraan terhadap kondisi salinitas asli di lapangan. Konsentrasi bioaktivator EM4 yang digunakan adalah 1 mL/L dan 3 mL/L. Penggunaan variasi penelitian dijelaskan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variasi Penelitian yang Digunakan

PERLAKUAN		Bioaktivator EM4		
		tanpa	1 mL/L	3 mL/L
Salinitas	tanpa	R1*	R2*	R3*
	6 ppt	R4	R5	R6
	10 pt	R7	R8	R9

Keterangan : \* Tanpa resirkulasi

### 5. Pengoperasian Reaktor

Pengoperasian reaktor diawali dengan aklimatisasi sampah dan lindi selama 7 hari. Jumlah reaktor yang digunakan sebanyak 9 buah dengan rincian :

1. 1 reaktor kontrol tanpa perlakuan tanpa resirkulasi.
2. 2 reaktor tanpa bioaktivator EM4, dengan variasi salinitas, resirkulasi lindi.
3. 2 reaktor tanpa bioaktivator EM4, dengan variasi salinitas, tanpa resirkulasi lindi.
4. 4 reaktor dengan variasi salinitas dan bioaktivator EM4, resirkulasi lindi.

Debit lindi yang akan diresirkulasikan sebesar 240 mL/menit selama 30 menit/hari. Resirkulasi lindi dilakukan menggunakan sistem *intermitten* (buka tutup).

### 6. Metode Analisis Parameter Penelitian dan Pengukuran Pembentukan Gas

Parameter pada penelitian ini adalah salinitas, BOD, COD, pH, suhu dan produksi gas. Analisis terhadap parameter COD, pH, suhu, produksi gas dan salinitas dilakukan setiap 3 hari selama waktu pengoperasian, sedangkan analisis BOD dilakukan setiap 9 hari sekali. Analisa BOD, COD, pH dan salinitas dilakukan sesuai dengan prosedur *Standard Method for The Examination of Water and Wastewater* yang tertera pada Lampiran A.

Analisis yang dilakukan pada penelitian utama terdiri dari :

1. *Proximate, ultimate analysis* dan berat sampah sebelum penelitian dan sesudah penelitian.
2. Kualitas *effluent* lindi (COD, BOD, pH, salinitas). Parameter COD menjadi dasar untuk menentukan kesetimbangan massa kandungan organik setelah terjadi proses degradasi dengan resirkulasi lindi bersalinitas.
3. Kualitas sampah (COD, pH, suhu, salinitas). Parameter COD menjadi dasar untuk menentukan kesetimbangan massa kandungan organik setelah terjadi proses degradasi dengan resirkulasi lindi bersalinitas.
4. Laju degradasi sampah. Metode pengukuran laju degradasi sampah menggunakan analisis kimia berdasarkan penurunan nilai organik sampah yang dinyatakan dalam bentuk COD.
5. Laju pembentukan gas menggunakan data *time series*.
6. Komposisi gas menggunakan analisa *Gas Chromatography* (GC). Analisa GC dilakukan di Laboratorium Energi, ITS.

Laju degradasi sampah dapat diketahui setelah mendapat nilai  $k$  dari persamaan kinetik orde kesatu. Kesetimbangan massa diukur berdasarkan parameter COD yang ada pada lindi. Rumus perhitungan kesetimbangan COD lindi dituliskan sebagai berikut.

$$g.COD (a) = g.COD (b) + g. COD (c) + g. COD (d) \dots 3.2$$

Keterangan :

- (a) = COD lindi yang dimasukkan ke reaktor sebagai resirkulasi
- (b) = COD lindi yang terserap + COD lindi yang

terdegradasi oleh sampah

- (c) = COD lindi yang keluar setelah resirkulasi + COD lindi yang dihasilkan oleh sampah dalam reaktor
- (d) = COD lindi yang berubah menjadi gas metana

### 3.2.6. Resirkulasi Lindi Bersalinitas dan Penambahan Bioaktivator EM4

Aplikasi resirkulasi lindi yang dilakukan dalam penelitian ini merupakan resirkulasi lindi bersalinitas. Hal ini bertujuan untuk menyesuaikan kondisi reaktor dengan kondisi di lapangan. Berdasarkan data karakteristik lindi TPA Ngipik, maka perlu dilakukan pemekatan nilai konsentrasi salinitas. Pemekatan dilakukan dengan menambahkan NaCl atau garam yang tertera pada Lampiran B.

Variasi salinitas dalam penelitian ini adalah konsentrasi asli dan konsentrasi yang berada pada kondisi ekstrem. Variasi konsentrasi salinitas asli yang digunakan adalah sebesar 6,07 ppt, sedangkan untuk variasi kondisi ekstrem digunakan nilai variasi 10 ppt. Nilai variasi 10 ppt dipilih berdasarkan perkiraan kemungkinan adanya kenaikan konsentrasi lindi pada musim kemarau. Konsentrasi lindi yang dihasilkan pada musim kemarau bernilai dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan konsentrasi lindi yang dihasilkan saat musim hujan (Kawai *et al.*, 2009).

Pengkondisian konsentrasi salinitas diatur pada kondisi 6 ppt dan 10 ppt. Variasi konsentrasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap laju degradasi sampah jika lindi diresirkulasikan. Lindi diresirkulasi secara *intermittent* dengan debit sebesar 240 mL/hari selama 30 menit. Dengan adanya resirkulasi lindi dapat menjadi indikasi apakah sistem resirkulasi mampu menjadi salah satu alternatif pengolahan lindi yang dapat menyisihkan sebagian kandungan organik dan salinitas.

Selain variasi nilai konsentrasi salinitas, pada penelitian ini juga dilakukan variasi penambahan bioaktivator EM4. Variasi

penambahan EM4 sebesar 1 mL/L dan 3 mL/L. Masing – masing variasi tersebut diaplikasikan terhadap 8 buah reaktor, yakni reaktor 4 (R4), reaktor 5 (R5) dan reaktor 6 (R6) untuk variasi salinitas 6 ppt , reaktor 7 (R7), reaktor 8 (R8), reaktor 9 (R9) untuk variasi salinitas 10 ppt, reaktor 1 (R1) sebagai reaktor kontrol tanpa resirkulasi dan tanpa penambahan EM4, serta reaktor 2 (R2) dan reaktor 3 (R3) sebagai reaktor kontrol penambahan EM4. Variasi tiap – tiap reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.4.

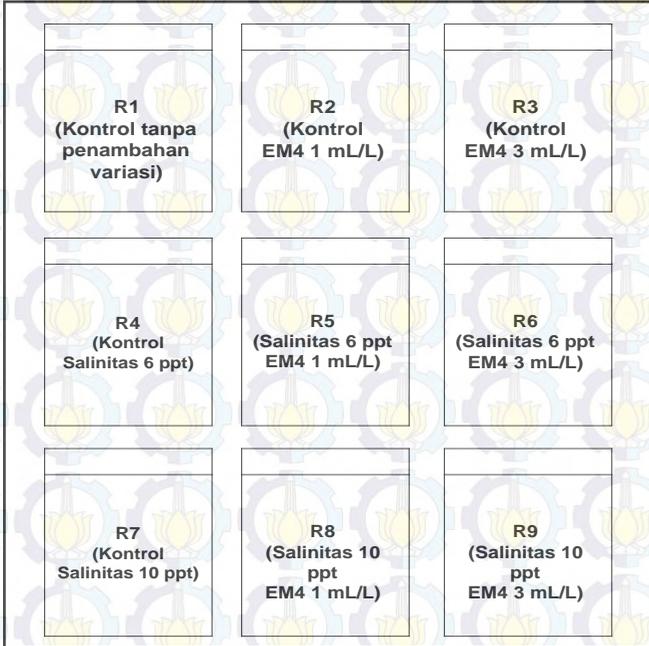
Resirkulasi lindi bertujuan untuk menambah kelembaban dalam sampah. Menurut Sponza dan Adgag (2004), resirkulasi lindi dapat meningkatkan kelembaban sampah dapat menjaga kestabilan aktivitas mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik. Selain itu, dengan adanya penambahan EM4 sebagai bioaktivator dapat membantu dekomposisi. Namun terdapatnya konsentrasi salinitas pada lindi dapat memberikan efek tertentu. Efek salinitas pada proses degradasi sampah dapat diukur melalui kandungan COD, dimana klorida dapat menghambat aktivitas bakteri sehingga kandungan COD menurun (Olguin dan Forster, 2010).

### 3.2.7. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dituliskan secara deskriptif untuk menjelaskan hasil penelitian berdasarkan parameter penelitian dan pengukuran pembentukan gas. Pengaruh penambahan bioaktivator EM4 dan resirkulasi lindi bersalinitas akan dibahas secara detail pada tahap ini. Hal – hal yang dibahas pada tahap ini meliputi :

1. Komposisi dan karakteristik awal sampah dan lindi.
2. Laju degradasi sampah berdasarkan laju reaksi kinetik orde satu dengan parameter COD.
3. Kualitas *effluent* lindi untuk menentukan kesetimbangan massa (COD, BOD, pH, salinitas).
4. Kualitas sampah yang meliputi parameter COD, pH, suhu dan salinitas.

5. Potensi produksi dengan parameter volume gas dan komposisi gas (menggunakan *Gas Chromatography*).



Gambar 3. 3 Variasi Reaktor Penelitian

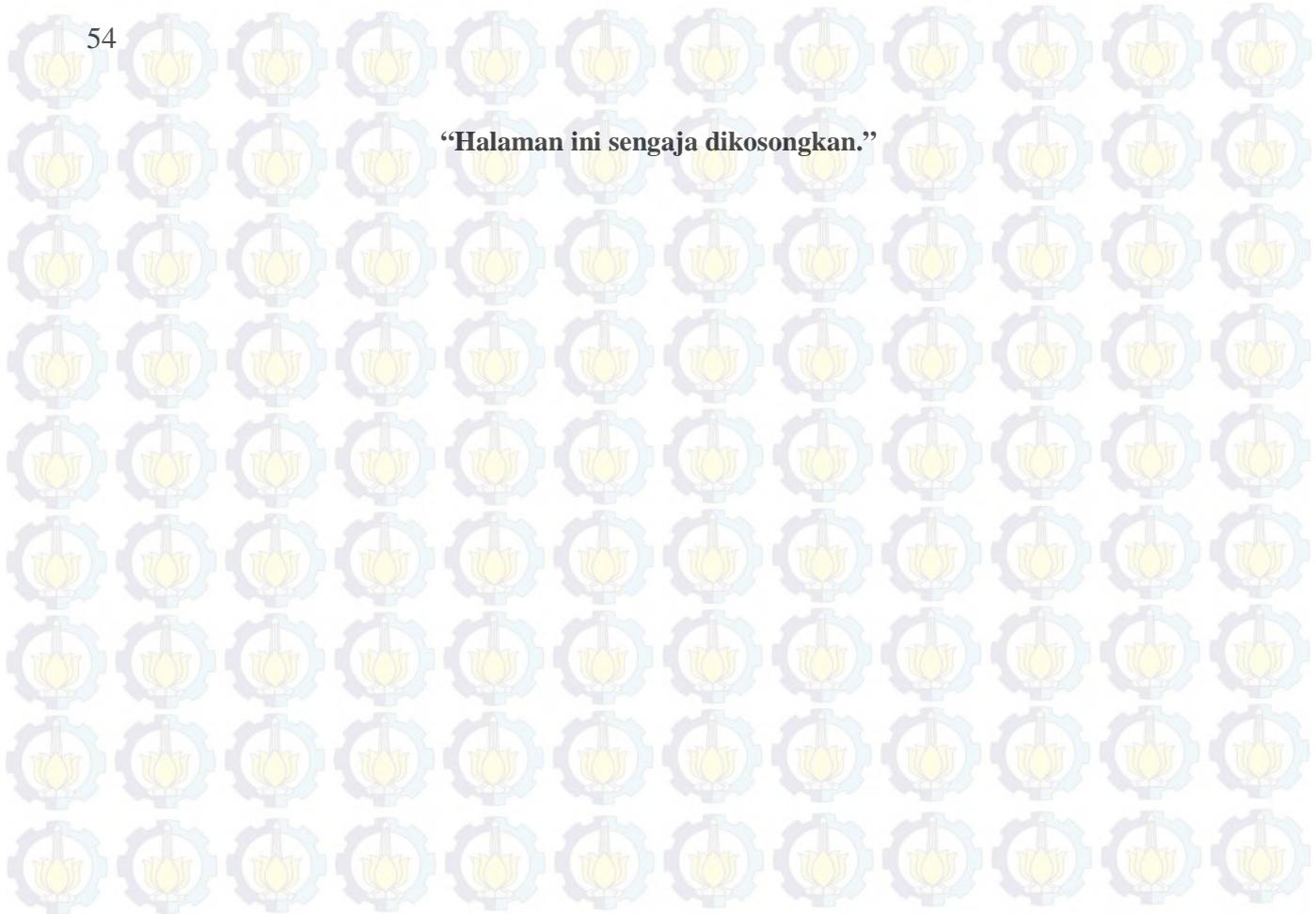
### 3.2.8. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diperoleh dari hasil analisis data dan pembahasan yang dihubungkan dengan literatur serta tujuan dilaksanakannya penelitian ini. Kesimpulan yang diperoleh harus dapat menjawab tujuan penelitian. Pengambilan kesimpulan dapat menjadi dasar pengambilan saran. Saran yang diberikan dapat digunakan sebagai perbaikan untuk penelitian selanjutnya sehingga dapat meminimisasi kesulitan pada penelitian selanjutnya.



Gambar 3. 4 Lokasi Pengambilan Sampel Lindi dan Sampah di TPA Ngipik, Gresik

**“Halaman ini sengaja dikosongkan.”**



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan merupakan penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan data awal. Data awal tersebut dijadikan sebagai acuan untuk melaksanakan penelitian utama. Data awal tersebut meliputi data karakteristik sampah, komposisi sampah dan kualitas lindi. Data karakteristik sampah digunakan untuk mengetahui kandungan air, *volatile solid*, dan senyawa organik dalam sampah yang meliputi karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N).

Reaktor pada penelitian ini dijalankan menggunakan sistem anaerobik dengan terlebih dahulu dilakukan tes kebocoran. Sampling sampah dan lindi dilakukan pada musim penghujan. Sampel sampah diambil sebanyak  $\pm 360$  kg yang kemudian dibagi rata ke dalam 9 buah reaktor dengan total sampah yang masuk ke dalam masing – masing reaktor sebanyak  $\pm 40$  kg. Sampel lindi diambil dari instalasi pengolahan lindi sebanyak  $\pm 100$  L. Analisis kualitas awal lindi bertujuan untuk mengetahui tingkat pemekatan sesuai dengan konsentrasi salinitas yang divariasikan.

##### 4.1.1. Karakteristik Sampah TPA Ngipik

Karakteristik awal sampah yang dianalisis pada penelitian pendahuluan meliputi karakteristik fisik dan karakteristik kimia sampah. Karakteristik fisik sampah yang dianalisis adalah suhu, densitas. Sampel sampah yang digunakan dikondisikan pada densitas sebesar  $400 \text{ kg/m}^3$  dengan suhu sebesar  $34^\circ\text{C}$ .

Karakteristik kimia sampah yang dinalisis pada penelitian ini meliputi *proximate analysis* dan *ultimate analysis*. Karakteristik kimia berdasarkan *proximate analysis* berupa analisis kadar air (*moisture content*) dan kadar abu (*volatile solid*). Besar kadar air dan kandungan organik yang dimiliki oleh sampah dapat mempengaruhi potensi volume dan kualitas lindi yang dihasilkan. Kandungan *volatile solid* yang terdapat dalam sampah

menunjukkan potensi tingkat biodegradabilitas bahan organik yang terkandung dalam sampah. Nilai *volatile solid* ini akan menurun seiring dengan peningkatan aktivitas mikroorganisme (Beffa, 2012). Bahan organik akan didegradasi dan diubah bentuk oleh mikroorganisme pada tahap asidifikasi dan metanogenesis menjadi bentuk lain (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

*Ultimate analysis* merupakan analisis karakteristik sampah untuk menentukan komposisi senyawa organik karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N). Karakteristik kimia sampah TPA Ngipik dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Karakteristik Sampah TPA Ngipik

Analisis	Parameter	Satuan (w/w)	Nilai
<i>Proximate Analysis</i>	Moisture Content	%	57,74
	Volatile Solid	%	81,27
<i>Ultimate Analysis</i>	Karbon (C)	%	45,15
	Hidrogen (H)	%	5,418
	Nitrogen (N)	%	4,22
	Oksigen (O)	%	45,21

Berdasarkan Tabel 4.1, diketahui bahwa nilai *volatile solid* sampah TPA Ngipik sebesar 81,27 %. Besar nilai *volatile solid* menandakan bahwa sampah dapat diubah menjadi bentuk lain seperti panas, kompos, sel mikroorganisme baru, dan gas – gas seperti CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> dan SO<sub>2</sub> (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Sampel sampah memiliki kelembaban yang optimum untuk proses degradasi sampah yakni sebesar 57,74 %.

Hasil analisis karakteristik sampah tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan teoritis untuk menentukan senyawa organik sampah sehingga diperoleh massa masing-masing unsur organik. Perhitungan nilai massa tersebut digunakan untuk mencari nilai mol dengan membagi massa unsur dengan massa atom.

Kandungan total karbon dan hidrogen dinyatakan dalam prosentase yang diperoleh dari nilai *volatile solid*. Menurut Jigar *et al.* (2011), nilai total karbon dan hidrogen dapat dicari menggunakan persamaan empiris (4.1) dan (4.2) sebagai berikut.

$$\text{Karbon (\%)} = \frac{VS (\%)}{1,8} \quad \dots 4.1$$

$$\text{Hidrogen (\%)} = \frac{VS (\%)}{15} \quad \dots 4.2$$

Dengan menggunakan persamaan (4.1) dan (4.2), prosentase nilai karbon dan hidrogen didapatkan berturut-turut sebesar 45,15 % dan 5,42 %. Total nilai karbon dan hidrogen tersebut digunakan untuk menghitung nilai mol unsur organik. Nilai mol unsur organik yang terkandung dalam sampah dapat dilihat pada Tabel 4.2.

- Mol Karbon (C) =  $\frac{\text{Massa C}}{\text{Massa atom C}} = \frac{5,886}{12,01} = 0,490$
- Mol Hidrogen (H) =  $\frac{\text{Massa H}}{\text{Massa atom H}} = \frac{0,706}{1,01} = 0,699$
- Mol Oksigen (O) =  $\frac{\text{Massa O}}{\text{Massa atom O}} = \frac{5,893}{16} = 0,368$
- Mol Nitrogen (N) =  $\frac{\text{Massa N}}{\text{Massa atom N}} = \frac{0,550}{14,01} = 0,039$

Tabel 4. 2 Hasil Analisis Komposisi Unsur Organik dalam Sampah

Unsur Organik	Massa (g)	Massa atom (g/mol)	Mol Unsur (mol)
Karbon	5,886	12,01	0,490
Hidrogen	0,706	1,01	0,699
Oksigen	5,893	16,00	0,368
Nitrogen	0,550	14,01	0,039

Unsur kimia sampah dapat dilihat melalui komposisi  $C_aH_bO_cN_d$  yang dapat ditentukan dengan mengetahui perbandingan dari masing – masing unsur organik. Nilai koefisien d dianggap 1 ( $d=1$ ). Komposisi unsur kimia sampah dapat dicari dengan menggunakan cara,

- Koefisien Karbon (C) =  $\frac{0,490}{0,039} = 12,48 \approx 13$

- Koefisien Hidrogen (H) =  $\frac{0,699}{0,039} = 17,81 \approx 18$

- Koefisien Oksigen (O) =  $\frac{0,368}{0,039} = 9,38 \approx 10$

- Koefisien Nitrogen (N) =  $\frac{0,039}{0,039} = 1$

Dengan demikian, diperoleh senyawa kimia sampah secara teoritis (empiris) sebesar  $C_{13}H_{18}O_{10}N$ . Senyawa kimia sampah digunakan untuk memperkirakan produksi gas metan ( $CH_4$ ) yang dihasilkan oleh sampah.

#### 4.1.2. Karakteristik Lindi TPA Ngipik

Sampel lindi yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari bak pengolah lindi di TPA Ngipik. Lindi tersebut akan disirkulasikan secara *intermitten* ke dalam reaktor sampah. Resirkulasi lindi bertujuan untuk meningkatkan kelembaban dalam sampah yang dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme pengurai (Benbelkacem *et al.*, 2010 dan Loncnar *et al.*, 2010). Sampel lindi perlu diketahui karakteristik dan kualitasnya. Analisis awal kualitas lindi akan dijadikan sebagai pembanding dengan hasil akhir kualitas lindi setelah dilakukan resirkulasi ke dalam sampah.

Karakteristik lindi yang dianalisis pada penelitian ini meliputi parameter pH, kandungan salinitas, COD dan BOD. Kualitas lindi berpengaruh terhadap beberapa parameter organik

seperti BOD dan COD dimana parameter tersebut dapat mempengaruhi laju degradasi sampah. Hasil analisis terhadap parameter kualitas lindi TPA Ngipik dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Analisis Karakteristik Lindi TPA Ngipik

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	7,37
Salinitas	ppt	6,07
BOD	mg/L	1.109,7
COD	mg/L	2.462

Berdasarkan data hasil analisis, diketahui bahwa kandungan salinitas dalam lindi cukup tinggi. Besar konsentrasi salinitas lindi TPA Ngipik sebesar 6,07 ppt. Lokasi TPA yang berada pada jarak  $\pm 6$  km (ditarik dari garis lurus pantai) menyebabkan terjadinya intrusi air laut terhadap air tanah sehingga lindi yang dihasilkan memiliki kandungan salinitas yang cukup tinggi. Dilihat dari kandungan salinitas yang dimiliki, lindi TPA Ngipik termasuk ke dalam golongan *mesohaline* (Bugler *et al.*, 1993).

Beragam jenis komposisi sampah yang masuk ke dalam TPA mengakibatkan kompleksnya kandungan yang terdapat di dalam lindi. Lindi TPA Ngipik memiliki konsentrasi BOD sebesar 1.109,7 mg/L, konsentrasi COD sebesar 2.462 mg/L dan pH sekitar 7,37.

#### **4.2. Pengaruh Resirkulasi Lindi Bersalinitas dan EM4**

Pada penelitian ini, lindi yang disirkulasikan memiliki tingkat konsentrasi salinitas dimana salinitas merupakan inhibitor dalam proses degradasi sampah. Salinitas yang tinggi dapat menghambat kerja mikroorganisme sehingga proses degradasi pun akan menurun (Lim *et al.*, 2008). Sedangkan, prinsip kerja dari bioaktivator EM4 adalah menumbuhkan mikroorganisme baru yang dapat menambah mikroorganisme asal sehingga proses degradasi akan berjalan semakin cepat. Pada penelitian ini akan didapatkan pengaruh resirkulasi lindi bersalinitas serta

penambahan EM4 terhadap laju degradasi sampah. Beberapa parameter yang diukur adalah pH, suhu, kadar air, serta kandungan BOD dan COD.

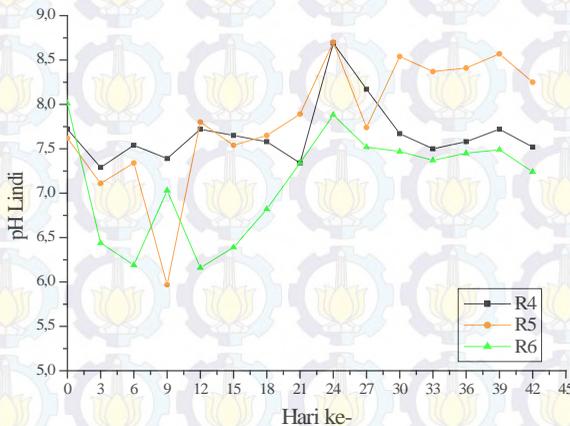
#### 4.2.1. Perubahan Kondisi Parameter pH Lindi dan Sampah

Resirkulasi lindi bersalinitas juga berpengaruh terhadap pH. Lindi yang diresirkulasikan tiap harinya pada tumpukan sampah memungkinkan terjadinya penyerapan kandungan oleh sampah. Berlaku sebaliknya, beberapa kandungan yang terdapat dalam sampah juga dapat terserap dalam lindi. pH berpengaruh terhadap proses dekomposisi sebagai kondisi lingkungan optimum bagi mikroorganisme anaerobik. pH optimum bagi mikroorganisme memiliki 2 nilai optimum yakni *Up Optimum Level* (OUL) sebesar 6,5 dan *Low Optimum Level* (LOL) sebesar 8,4 (Hao *et al.*, 2008).

##### 1. pH lindi

Adanya resirkulasi lindi bersalinitas telah mengubah nilai pH pada *effluent* lindi. Lindi bersalinitas 6 ppt diresirkulasikan pada tiga reaktor, yakni R4, R5 dan R6. Grafik perubahan nilai pH pada R4, R5 dan R6 dapat dilihat pada Gambar 4.1. Berdasarkan gambar tersebut, nilai pH R4 dan R5 pada hari ke - 3 hingga ke-9 mengalami penurunan. Sedangkan pH pada R6 mengalami kenaikan. Perbedaan nilai pH pada setiap reaktor disebabkan karena perbedaan volume lindi yang diresirkulasikan setiap harinya. Perbedaan volume ini akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap proses degradasi.

Selain itu, penurunan nilai pH mengindikasikan bahwa sedang terjadi penguraian bahan organik menjadi asam asetat, alkohol, karbon dioksida dan hidrogen (Warith *et al.*, 2005). Mikroorganisme yang berperan dalam tahap ini merupakan bakteri asidogenesis. Penurunan nilai pH pada awal penelitian berhubungan dengan peningkatan jumlah zat organik pada *effluent* lindi. Kandungan organik yang tinggi menyebabkan penurunan terhadap nilai pH (Alkaabi *et al.*, 2009).



Gambar 4. 1 Grafik Perubahan pH *Effluent* Lindi pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 6 ppt

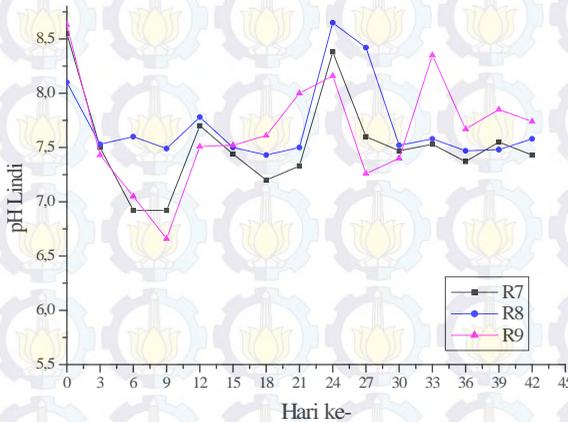
Grafik perubahan nilai pH pada reaktor dengan salinitas 10 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.2. Reaktor dengan perlakuan variasi salinitas 10 ppt adalah R7, R8 dan R9. Tidak jauh berbeda dengan reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt, nilai pH pada R7, R8 dan R9 juga mengalami penurunan pada hari awal penelitian.

Pada hari ke-24 penelitian, terjadi peningkatan nilai pH yang cukup tajam pada ketiga reaktor. Hal ini disebabkan karena salinitas berfungsi sebagai buffer basa. Ion Na, Mg, Cl, K, I yang terkandung dalam salinitas memberikan pengaruh pH basa (Loncnar *et al.*, 2010). Oleh karena itu, nilai pH terus meningkat hingga akhir penelitian baik pada reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt maupun 10 ppt.

Nilai pH tertinggi pada reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt terjadi pada R4 dengan nilai pH mencapai 8,69. Sedangkan R8 merupakan reaktor dengan nilai pH tertinggi pada variasi salinitas 10 ppt, yakni sebesar 8,65. Pada penelitian ini, didapatkan nilai Ph maksimum yang dimiliki oleh effluent lindi sebesar 8,65 – 8,69 ppt.

Menurut Warith *et al.* (2005), pH optimum untuk pembentukan gas berada pada rentang pH 6,8-7,4. Tingginya nilai

pH ini dapat menyebabkan terhambatnya produksi gas. Hal ini dibuktikan dengan jumlah produksi gas harian yang dihasilkan oleh tiap reaktor cukup rendah. Data jumlah produksi gas harian tiap reaktor dapat dilihat pada Lampiran D.



Gambar 4. 2 Grafik Perubahan pH Effluent Lindi pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 10 ppt

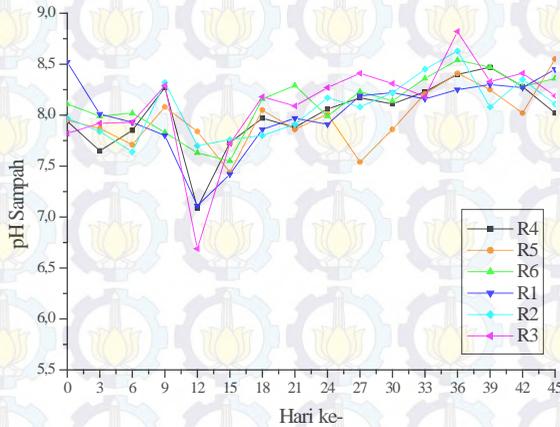
Pada penelitian ini, nilai pH baik pada variasi salinitas 6 ppt dan 10 ppt berada pada kisaran pH 7. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Adgag dan Sponza (2005) yang mendapatkan nilai pH sebesar 7 pada bioreaktor anaerobik.

Kandungan ion bersifat basa yang terkandung dalam lindi tersebut menjadikan semakin tinggi konsentrasi salinitas maka nilai pH pun akan semakin tinggi. Hal ini yang menyebabkan nilai pH pada penelitian ini cenderung meningkat. Nilai pH yang tinggi ini memberikan pengaruh terhadap pembentukan gas, dimana pembentukan gas metana berada pada rentang pH netral.

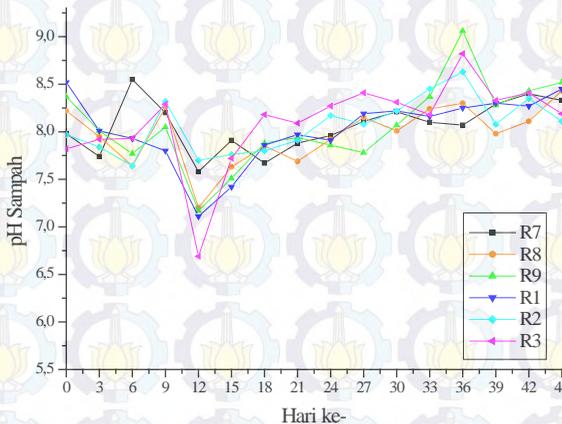
## 2. pH sampah

Resirkulasi lindi bersalinitas juga memberikan pengaruh terhadap nilai pH sampah. Lindi dengan kandungan salinitas yang diresirkulasikan ke atas tumpukan sampah akan diserap oleh

sampah yang dilaluinya. Grafik perubahan nilai pH pada reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.3. Sedangkan grafik perubahan nilai pH pada reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 3 Grafik Perubahan pH Sampah pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 6 ppt



Gambar 4. 4 Grafik Perubahan pH Sampah pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 10 ppt

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, pada hari ke-12 penelitian, terjadi penurunan nilai pH hampir pada setiap reaktor. Setelah terjadi penurunan, pH sampah mulai meningkat dan mencapai puncak peningkatan pada hari ke-36 penelitian. Peningkatan ini terjadi baik pada reaktor dengan salinitas 6 ppt maupun salinitas 10 ppt. Hal ini membuktikan bahwa sampah dapat menyerap konsentrasi lindi secara optimum pada hari ke-36 penelitian.

Lindi yang diresirkulasikan akan diserap dan tertahan di dalam sampah sehingga nilai salinitas sampah pun meningkat. Meningkatnya konsentrasi salinitas juga diimbangi dengan peningkatan pH pada sampah. Hal ini menunjukkan bahwa salinitas berpengaruh terhadap pH. Naiknya nilai pH yang disebabkan karena adanya salinitas berperan sebagai larutan penyangga untuk menjadi nilai pH agar berada pada kisaran pH 7 (Nurhayati, 2013). Ketidakstabilan nilai pH akan memberikan pengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme membutuhkan besar nilai pH tertentu untuk menjaga kelangsungan proses degradasi bahan organik.

#### **4.2.2. Pengaruh Terhadap Parameter Kadar Air Sampah**

Kadar air atau kelembaban di dalam sampah berfungsi sebagai media penyebaran bahan organik bagi mikroorganisme (Warith *et al.*, 2005). Mikroorganisme membutuhkan kelembaban optimal dan terjaga untuk mempertahankan kestabilannya dalam mendegradasi bahan organik. Kelembaban optimal yang dibutuhkan oleh mikroorganisme terutama bakteri metanogen untuk mendegradasi sampah berkisar antara 50% - 60%. Kelembaban yang kurang dari 50 % atau lebih dari 60 % dapat mengganggu kinerja bakteri sehingga terjadi penurunan efisiensi degradasi sampah.

Petchsri *et al.* (2006) menyebutkan salah satu keuntungan adanya resirkulasi lindi adalah dapat meningkatkan kadar air dalam sampah. Selain itu menurut Warith *et al.* (2005) kadar air dalam sampah dapat berperan sebagai perantara untuk penyebaran

mikroorganisme serta penyebaran substrat dan nutrient bagi mikroorganisme.



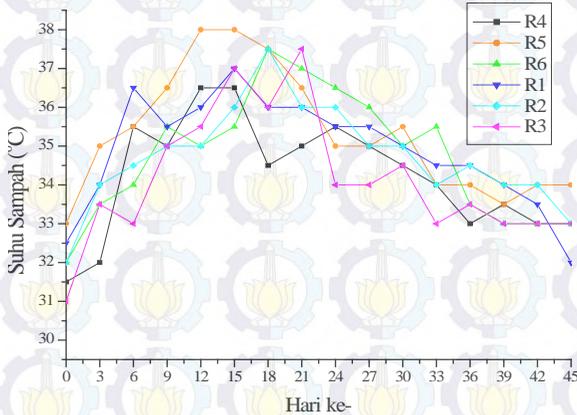
Gambar 4. 5 Hasil Analisis Kadar Air Akhir Tiap Reaktor

Pada penelitian ini, besar kadar air yang dimiliki oleh tiap reaktor tidak sama. Hasil analisis kadar air untuk tiap reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.5. Berdasarkan Gambar 4.5, R5 memiliki kadar air yang lebih besar jika dibandingkan dengan R4 dan R6 untuk reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt. Sedangkan R9 merupakan reaktor yang memiliki kadar air paling besar yakni sebesar 70,59 %. Perbedaan besar kadar ini disebabkan karena perbedaan proses degradasi bahan organik di dalam reaktor. selain itu juga disebabkan karena volume lindi yang diresirkulasikan setiap harinya berbeda.

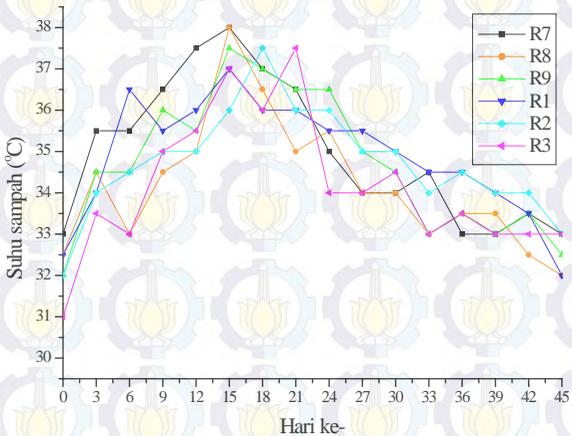
### 4.2.3. Pengaruh Terhadap Parameter Suhu Sampah

Besar suhu sampah dipengaruhi oleh kadar air yang dimiliki oleh sampah tersebut. Perubahan yang terjadi pada suhu sampah menggambarkan sedang terjadi aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi sampah. Grafik perubahan suhu sampah pada reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt dapat dilihat pada Gambar

4.6. sedangkan perubahan suhu untuk variasi salinitas 10 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 6 Grafik Perubahan Suhu Sampah pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 6 ppt



Gambar 4. 7 Grafik Perubahan Suhu Sampah pada Reaktor dengan Variasi Salinitas 10 ppt

Berdasarkan Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa suhu pada setiap reaktor mengalami kenaikan pada awal penelitian, tepatnya pada hari ke-6 hingga hari ke-15 penelitian. Peningkatan suhu di dalam reaktor ini disebabkan karena adanya aktivitas mikroorganisme. Pada fase ini terjadi penguraian bahan organik. Suhu yang tinggi mengindikasikan tersedianya substrat sebagai energi fermentasi yang digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme (Mindawati *et al.*, 1998). Bakteri yang berperan mempengaruhi suhu sampah merupakan bakteri mesofilik dan termofilik. Bakteri termofilik berperan untuk membentuk amonia dan nitrogen.

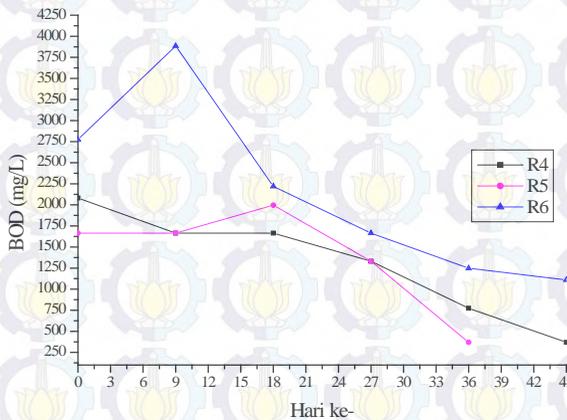
Kemudian suhu tiap reaktor menurun hingga hari terakhir penelitian menjadi suhu sekitar 32,5 °C hingga 33 °C. Penurunan suhu terjadi karena aktivitas bakteri mesofilik yang menggantikan bakteri termofilik. Kondisi mesofilik merupakan kondisi ideal kestabilan sampah proses dekomposisi Suhu tertinggi yang dapat dicapai oleh reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt dimiliki oleh R5 dengan suhu mencapai 36 °C. Sedangkan R8 dan R7 memiliki suhu tertinggi jika dibandingkan dengan R9 untuk reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt.

#### **4.2.4. Pengaruh Terhadap Kandungan BOD dan COD Lindi**

Parameter kandungan organik yang diukur pada penelitian ini adalah BOD dan COD. Komposisi bahan organik yang terkandung menggambarkan potensi terurainya bahan organik oleh mikroorganisme. Kandungan organik dalam sampah akan menurun seiring dengan meningkatnya aktivitas mikroorganisme untuk mengurainya. Konsentrasi COD

##### **1. Variasi Resirkulasi Lindi Bersalinitas 6 ppt**

Resirkulasi lindi bersalinitas dengan konsentrasi 6 dilakukan pada 3 reaktor, yakni R4 (kontrol salinitas 6 ppt), R6 (EM4 5 mL/L) dan R6 (EM4 1 mL/L). Konsentrasi BOD setelah dilakukan resirkulasi lindi pertama kali pada R4, R6 dan R5 berturut-turut adalah sebesar 2.080,8 mg/L, 2.775 mg/L dan 1.665 mg/L.



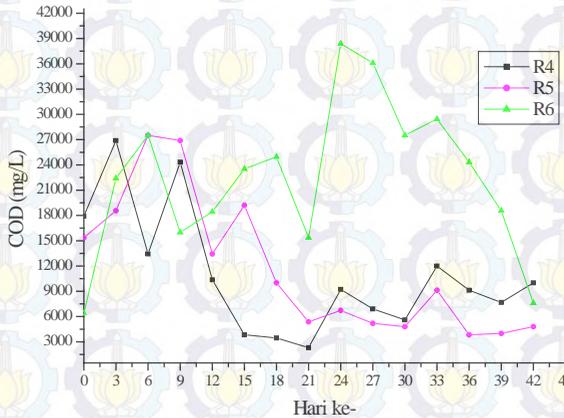
Gambar 4. 8 Grafik Konsentrasi BOD Lindi pada Variasi Penambahan 6 ppt

Resirkulasi yang dilakukan selama 45 hari telah memberikan pengaruh pada konsentrasi organik lindi. Grafik konsentrasi BOD selama 45 hari dapat dilihat pada Gambar 4.8. Setelah 45 hari dilakukan resirkulasi, konsentrasi BOD R4, R6 dan R5 berturut-turut adalah sebesar 130,6 mg/L, 422,5 mg/L dan 369,9 mg/L.

Pada hari akhir penelitian terjadi penurunan konsentrasi baik BOD maupun COD. Penurunan BOD untuk masing – masing reaktor berturut-turut adalah sebesar 1.950,3 mg/L, 2.352,5 mg/L dan 1.295,1 mg/L. Jika dihitung efisiensinya, R4 memiliki efisiensi penurunan terbesar yakni sebesar 93,7 %. Sedangkan untuk R6 sebesar 84,8 % dan untuk R5 sebesar 77,8 %. Penurunan konsentrasi ini mengindikasikan bahwa adanya resirkulasi lindi dan penambahan EM4 telah memberikan efek terhadap penurunan konsentrasi BOD pada sampah.

Pada R5, degradasi bahan organik menjadi lebih rendah dikarenakan terganggunya kestabilan aktivitas mikroorganisme sebagai akibat dari adanya salinitas. Hal ini membuktikan bahwa salinitas merupakan penghambat terjadinya proses degradasi sampah. Pada tiap reaktor sempat mengalami kenaikan konsentrasi BOD. Peningkatan konsentrasi BOD

mengindikasikan bahwa terjadi proses hidrolisis dan pemecahan polimer menjadi gula, asam amino, gliserol dan asam karboksilat rantai panjang (Warith *et al.*, 2005).



Gambar 4. 9 Grafik Konsentrasi COD Lindi pada Variasi Salinitas 6 ppt

Peningkatan dan penurunan konsentrasi COD bergantung pada proses degradasi anaerobik yang terjadi di dalam reaktor (Lee *et al.*, 2010 dan Mali, 2010). Perubahan konsentrasi COD dengan penambahan salinitas sebesar 6 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.9. Konsentrasi COD pada R4, R6 dan R5 setelah dilakukan resirkulasi lindi pertama adalah sebesar 17.920 mg/L, 6.400 mg/L dan 15.360 mg/L. Peningkatan konsentrasi COD pada hari awal penelitian disebabkan oleh terbentuknya asam organik pada tahap asidifikasi.

Setelah hari ke-45 penelitian, terjadi penurunan konsentrasi COD pada tiap – tiap reaktor yakni berturut-turut menjadi sebesar 10.000 mg/L, 7.600 mg/L dan 4.800 mg/L. Efisiensi penurunan COD untuk masing-masing reaktor adalah sebesar 62,8 %, 66,07 % dan 82,56 %. Berlaku pula untuk konsentrasi COD bahwa dengan adanya resirkulasi lindi dan penambahan EM4 dapat memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD pada lindi. EM4 dapat meningkatkan kemampuan biodegradabilitas

sampah dan mempercepat proses hidrolisis zat polimer (He *et al.*, 2005).

Proses anaerobik yang terjadi di dalam reaktor menjadi salah satu faktor utama yang dapat mempengaruhi peningkatan maupun penurunan konsentrasi COD. Menurut Alkaabi *et al.* (2007), penurunan konsentrasi COD dapat dinyatakan sebagai selisih antara puncak pertama (*first peak*) dengan konsentrasi COD terakhir yang dimiliki pada akhir penelitian. Kemampuan penurunan konsentrasi COD lindi untuk tiap reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt dapat dilihat pada Tabel 4.4. Berdasarkan Tabel 4.4, diketahui bahwa R5 dan R6 memiliki penurunan konsentrasi COD terbesar yakni sebesar 66,07 % dan 65,12 %.

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Kemampuan Penurunan Konsentrasi COD Lindi pada Penambahan Salinitas 6 ppt

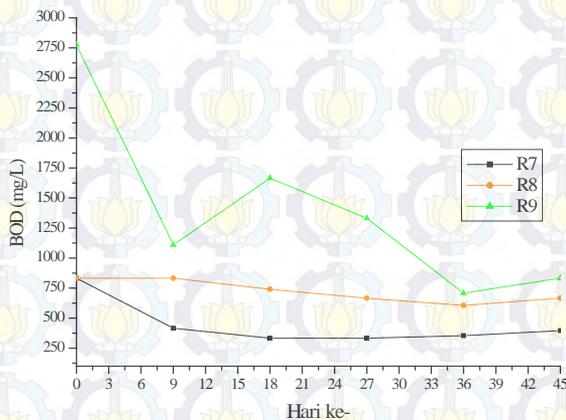
<b>COD (mg/L)</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>R6</b>
<i>First peak</i>	26.880	27.520	22.400
Konsentrasi Akhir	10.000	4.800	7.600
Penurunan (%)	62,80	82,56	66,07

Penurunan konsentrasi COD pada tiap reaktor disebabkan adanya konsentrasi salinitas pada lindi yang diresirkulasikan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Alkaabi *et al.* (2007), kemampuan penurunan konsentrasi COD pada R4 dan R6 belum mencapai nilai maksimalnya, yaitu berkisar antara 62 % - 66% dikarenakan penelitian baru berjalan selama 45 hari. Alkaabi *et al.*, (2007) telah melakukan penelitian pada reaktor sampah anaerobik dengan kandungan salinitas yang memiliki kemampuan dalam menurunkan konsentrasi COD sebesar 82 % setelah 400 hari penelitian.

## 2. Removal BOD dan COD Pada Variasi Resirkulasi Lindi 10 ppt

Resirkulasi lindi bersalinitas dengan konsentrasi 10 ppt dilakukan pada 3 reaktor, yakni R9 (EM4 3 mL/L), R8 (EM4 1

mL/L) dan R7 (kontrol salinitas 10 ppt). Grafik perubahan konsentrasi BOD tiap reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.10. Konsentrasi BOD setelah dilakukan resirkulasi lindi pertama kali pada R7, R8 dan R9 berturut-turut adalah sebesar 832,3 mg/L, 832,3 mg/L dan 2.775 mg/L.



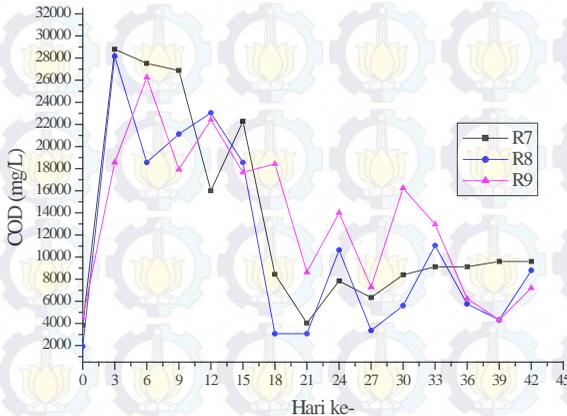
Gambar 4. 10 Grafik Konsentrasi BOD Lindi pada Variasi Penambahan 10 ppt

Penurunan konsentrasi BOD terbesar terjadi antara hari ke-18 dan hari ke-27. Setelah 45 hari dilakukan resirkulasi, konsentrasi BOD R7, R8 dan R9 berturut-turut adalah sebesar 396,3 mg/L, 666,7 mg/L dan 182,8 mg/L.

Pada hari akhir penelitian terjadi penurunan konsentrasi BOD. Konsentrasi BOD untuk R7, R8 dan R9 berturut-turut adalah sebesar 436 mg/L, 165,6 mg/L dan 2.592,2 mg/L. R9 memiliki efisiensi penurunan terbesar yakni sebesar 93,4 % dan efisiensi terendah pada R7 sebesar 47,6 %. Hal ini membuktikan bahwa salinitas merupakan penghambat terjadinya proses degradasi sampah.

Konsentrasi salinitas yang tinggi dapat mempengaruhi proses plasmolisis pada dinding sel mikroorganisme dan ketidakseimbangan antara konsentrasi cairan dalam sel dengan

medium lingkungannya. Semakin tinggi konsentrasi ion klorida, maka *plasmolisis* pada dinding mikroorganisme juga akan semakin besar sehingga dapat menyebabkan kematian (Nurhayati, 2013). Menurut Al-Kaabi (2007) mikroorganisme dapat bertahan pada konsentrasi salinitas maksimal 3 % untuk mendegradasi sampah.



Gambar 4. 11 Grafik Konsentrasi COD Lindi pada Variasi Salinitas 10 ppt

Penurunan konsentrasi COD dengan penambahan salinitas sebesar 10 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.11. Konsentrasi COD pada R7, R8 dan R9 setelah dilakukan resirkulasi lindi pertama adalah sebesar 3.840 mg/L, 1.920 mg/L dan 4.480 mg/L. Setelah hari ke-45 penelitian, terjadi penurunan konsentrasi COD pada tiap – tiap reaktor yakni berturut-turut menjadi sebesar 9.600 mg/L, 8.800 mg/L dan 7.200 mg/L. Efisiensi penurunan COD untuk masing-masing reaktor adalah sebesar 66,67 %, 68,75 % dan 72,56 %.

Berlaku pula untuk konsentrasi COD bahwa dengan adanya resirkulasi lindi dan penambahan EM4 dapat memberikan pengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD pada lindi. Namun dengan adanya salinitas dalam lindi yang diresirkulasikan

dapat menghambat proses degradasi sampah dimana efek salinitas dapat diukur melalui kandungan CODnya (Olguin dan Forster, 2010). Klorida menghambat aktivitas bakteri sehingga dapat menurunkan kandungan COD (Loncnar *et al.*, 2010).

Alkaabi *et al.* (2007), mengungkapkan bahwa penurunan konsentrasi COD dapat dinyatakan sebagai selisih antara puncak pertama (*first peak*) dengan konsentrasi COD terakhir yang dimiliki pada akhir penelitian. Kemampuan penurunan konsentrasi COD lindi untuk tiap-tiap reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt dapat dilihat pada Tabel 4.5. Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui bahwa R9 memiliki penurunan konsentrasi COD terbesar yakni sebesar 72,56 %.

Tabel 4. 5 Hasil Analisis Kemampuan Penurunan Konsentrasi COD Lindi pada Penambahan Salinitas 10 ppt

COD (mg/L)	R7	R8	R9
<i>First peak</i>	28.800	28.160	26.240
Konsentrasi Akhir	9.600	8.800	7.200
Penurunan (%)	66,67	68,75	72,56

Kadar air menjadi salah satu faktor dalam proses degradasi sampah (Mali *et al.*, 2010 dan Petchsri *et al.*, 2006). Kadar air yang terkandung pada R7, R8, dan R9 berturut – turut sebesar 70 %, 56 % dan 62 %. Kandungan kadar ini lebih besar daripada kadar air yang dimiliki oleh R4, R5 dan R6. Hal ini membuktikan bahwa kadar air cukup berperan penting dalam proses degradasi sampah yang dibuktikan dengan lebih besarnya kemampuan penurunan konsentrasi COD pada R7, R8 dan R9 walaupun pada reaktor tersebut ditambahkan salinitas sebesar 10 ppt.

### 3. Rasio BOD/COD

Kandungan bahan organik dalam sampah dikatakan *biodegradable* dapat dilihat dari perbandingan antara nilai BOD terhadap nilai CODnya. Mangkoediharjo (2009) menyebutkan

bahwa angka perbandingan BOD terhadap COD yang semakin mendekati 0,5 menandakan bahwa zat tersebut bersifat semakin biodegradabel dan semakin mendekati 0,1 menandakan bahwa jumlah bahan organik yang dapat didegradasi sudah menurun. Pada penelitian ini, hasil analisis perbandingan BOD dan COD semakin mendekati akhir penelitian semakin mendekati angka 0,1. Hasil analisis BOD/COD untuk masing-masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Analisis Perbandingan BOD dan COD Lindi (BOD/COD)

No	Reaktor ke-	Tanggal						
		3/3	12/3	21/3	30/3	8/4	21/4	29/4
1	R4	0,12	0,07	0,48	0,19	0,08	0,23	0,07
2	R5	0,11	0,06	0,20	0,26	0,10	-	-
3	R6	0,43	0,24	0,09	0,10	0,05	0,26	0,12
4	R7	0,22	0,02	0,04	0,05	0,04	0,14	-
5	R8	0,43	0,04	0,24	0,20	0,11	0,33	-
6	R9	0,62	0,06	0,09	0,18	0,11	0,23	0,04

#### 4.2.5. Pengaruh Terhadap Kandungan COD Sampah

Lindi yang diresirkulasikan di atas tumpukan sampah dapat memberikan pengaruh terhadap konsentrasi COD pada sampah. Selain pada konsentrasi COD lindi, konsentrasi COD dalam sampah juga mengalami penurunan namun tidak sebesar pada lindi. Menurut Krzystek *et al.* (2001) terdapat hubungan linier antara aktifitas mikroorganisme yang mendegradasi zat organik dengan nilai COD pada sampah. Semakin besar nilai COD sampah menandakan semakin banyak zat organik yang terdegradasi.

##### 1. Pengaruh Terhadap Reaktor dengan Variasi Salinitas 6 ppt

Konsentrasi COD sampah setelah pertama kali dilakukan resirkulasi berturut-turut untuk masing – masing reaktor adalah

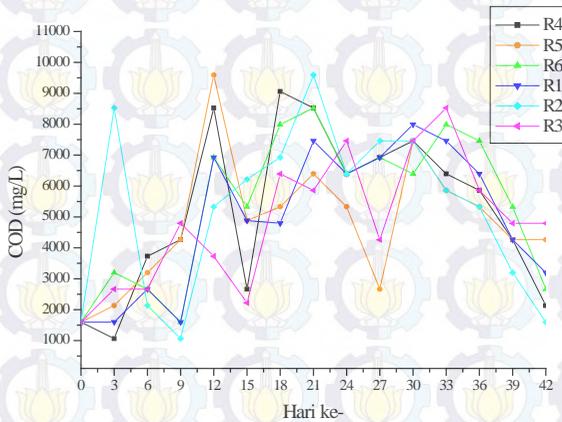
sebesar 1.065,6 mg/L, 3.196,8 mg/L dan 2.131,2 mg/L. Setelah dilakukan 45 hari resirkulasi lindi, konsentrasi COD sampah pada masing-masing reaktor menjadi sebesar 2.131,2 mg/L, 2.664 mg/L dan 3.196,8 mg/L. Grafik perubahan konsentrasi COD sampah pada variasi salinitas 6 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.12.

Berdasarkan Gambar 4.12, besar konsentrasi COD sampah pada R4, R5 dan R6 cenderung tidak stabil. Hal ini dikarenakan telah terjadi perubahan dari bahan organik menjadi asam organik dan adanya kemungkinan ketidakstabilan kadar air dalam sampah (Mali *et al.*, 2010). Ketidakstabilan kadar air ini terjadi akibat kurang terjaganya volume lindi yang diresirkulasikan tiap harinya. Volume lindi yang diresirkulasikan bergantung pada *effluent* yang dihasilkan setiap harinya. Jumlah volume lindi yang dihasilkan dapat dilihat pada Lampiran D. Selain itu, pada tahap ini terjadi penurunan nilai pH dan mulai terbentuknya gas CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Konsentrasi COD pada sampah cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan konsentrasi COD pada lindi. Namun, nilai COD lindi cenderung meningkat. Pada sampah, selain COD *initial* dari sampah itu sendiri, juga terdapat COD dari lindi yang diresirkulasikan. Hal ini yang memungkinkan terjadinya peningkatan COD sampah. Kemampuan penyerapan sampah yang berbeda – beda juga akan menghasilkan penumpukan konsentrasi yang berbeda (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Hasil analisis salinitas pada sampah dapat dilihat pada Lampiran D.

Tabel 4. 7 Hasil Analisis Kemampuan Penurunan Konsentrasi COD Sampah pada Penambahan Salinitas 6 ppt

<b>COD (mg/L)</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>R6</b>
<i>First peak</i>	8.524,8	9.590,4	6.926,4
Konsentrasi Akhir	2.131,2	3.196,8	2664
Penurunan (%)	75,00	66,67	61,54



Gambar 4.12 Grafik Konsentrasi COD Sampah pada Variasi Salinitas 6 ppt

## 2. Pengaruh Terhadap Reaktor dengan Variasi Salinitas 10 ppt

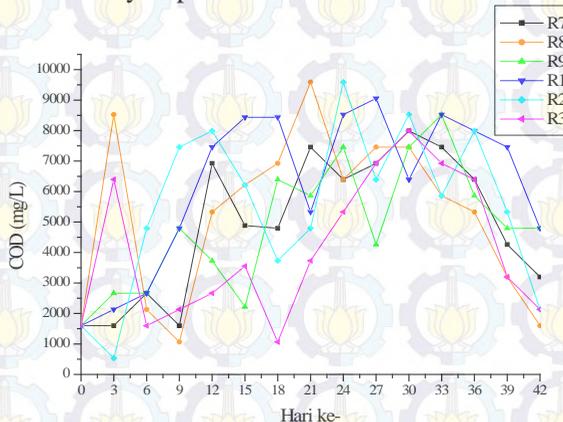
R7, R8 dan R9 merupakan reaktor yang diberi perlakuan variasi konsentrasi salinitas sebesar 10 ppt. Konsentrasi COD sampah setelah pertama kali dilakukan resirkulasi berturut-turut untuk masing – masing reaktor adalah sebesar 2.664 mg/L, 8.524,8 mg/L dan 1.598,4 mg/L. Setelah dilakukan 45 hari resirkulasi lindi, konsentrasi COD sampah pada masing-masing reaktor menjadi sebesar 4.795,2 mg/L, 3.729,6 mg/L dan 3.196,8 mg/L. Grafik perubahan konsentrasi COD sampah pada variasi salinitas 10 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.13.

Perubahan konsentrasi COD pada sampah dengan variasi salinitas 10 ppt tidak jauh berbeda dengan perubahan pada variasi salinitas 6 ppt. Konsentrasi COD pada sampah cenderung menurun. Penurunan konsentrasi ini terjadi karena proses degradasi bahan organik sudah mendekati kondisi stabil.

Alkaabi *et al.* (2007), menyatakan bahwa penurunan konsentrasi COD dapat dinyatakan sebagai selisih antara puncak pertama (*first peak*) dengan konsentrasi COD terakhir yang dimiliki pada akhir penelitian. Kemampuan penurunan konsentrasi COD lindi untuk tiap-tiap reaktor dengan variasi

salinitas 10 ppt dapat dilihat pada Tabel 4.8. Berdasarkan Tabel 4.8, diketahui bahwa R7 dan R8 memiliki penurunan konsentrasi COD terbesar yakni sebesar 56,25 % dan 53,85 %.

Perbedaan kemampuan dalam menyerap kandungan organik dan salinitas pada lindi menjadi salah satu faktor berbedanya kemampuan penurunan konsentrasi COD pada tiap reaktor (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Rolle *et al.* (1997) menyatakan bahwa konsentrasi ion  $Cl^-$  yang tinggi akan memberikan pengaruh buruk pada proses degradasi bahan organik, nitrogen dan fosfor. Kemampuan penurunan konsentrasi COD sampah pada reaktor dengan penambahan salinitas 10 ppt cenderung lebih kecil jika dibandingkan reaktor dengan penambahan salinitas sebesar 6 ppt. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan salinitas tinggi yang terserap oleh sampah dapat mempercepat tingkat kejenuhan sampah dalam menyerap lindi.



Gambar 4. 13 Grafik Konsentrasi COD Sampah pada Variasi Salinitas 10 ppt

Tabel 4.8 Hasil Analisis Kemampuan Penurunan Konsentrasi COD Sampah pada Penambahan Salinitas 10 ppt

COD (mg/L)	R7	R8	R9
<i>First peak</i>	7.459,2	8.524,8	9.057,6

COD (mg/L)	R7	R8	R9
Konsentrasi Akhir	3.196,8	3.729,6	4.795,2
Penurunan (%)	53,85	56,25	47,06

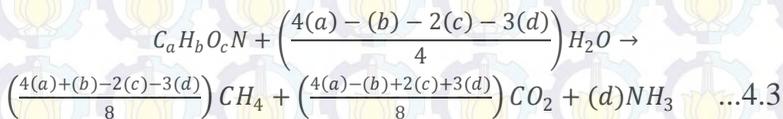
### 4.3. Pengaruh Resirkulasi Bersalinitas dan Penambahan EM4 terhadap Pembentukan Gas

Resirkulasi lindi yang dilakukan pada kondisi anaerobik dapat mempercepat proses pembentukan gas jika dibandingkan dengan tanpa resirkulasi (Asgari *et al.*, 2011). Produksi gas terjadi sebagai hasil dari proses dekomposisi senyawa organik yang terkandung dalam sampah. pH merupakan salah satu faktor yang berperan dalam proses degradasi sampah (Filipkowska, 2008 ). Mikroorganisme pengurai membutuhkan kondisi pH yang optimum untuk mendegradasi sampah sehingga terbentuk gas.

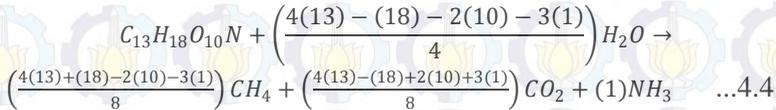
#### 4.3.1. Pembentukan Gas Metan Berdasarkan Stoikiometri

Pembentukan gas metan sebagai hasil dari degradasi anaerobik sampah dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan secara teoritis. Perhitungan secara teoritis yang dimaksud adalah perhitungan secara stoikiometri melalui perbandingan molar ratio dari karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N) dan oksigen (O). Hasil dari perbandingan molar ratio digunakan untuk memperkirakan rumus senyawa kimia sampah secara teoritis.

Pada penelitian ini telah diketahui rumus kimia sampah melalui analisis karakteristik sampah yakni  $C_{13}H_{18}O_{10}N$ . Berdasarkan rumus kimia sampah tersebut, total volume gas dapat diestimasi menggunakan persamaan 4. 3 (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

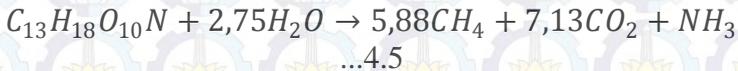


Melalui persamaan kimia tersebut, gas metan ( $\text{CH}_4$ ) yang terbentuk dapat diperkirakan jika senyawa kimia sampah diketahui dan diasumsikan semua zat organik terdegradasi. Rumus kimia sampah secara teoritis dalam penelitian ini adalah  $\text{C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_{10}\text{N}$ , sehingga koefisien dari  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  diketahui dengan nilai  $d=1$ .



- Koefisien  $\text{H}_2\text{O} = \frac{4(13) - (18) - 2(10) - 3(1)}{4} = 2,75$
- Koefisien  $\text{CH}_4 = \frac{4(13) + (18) - 2(10) - 3(1)}{8} = 5,88$
- Koefisien  $\text{CO}_2 = \frac{4(13) - (18) + 2(10) + 3(1)}{8} = 7,13$

Nilai koefisien dari  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  berturut-turut adalah sebesar 2,75; 5,88 dan 7,13. Koefisien dari senyawa organik tersebut digunakan untuk mengetahui perbandingan anatar senyawa dalam proses dekomposisi bahan organik.



Mr.      348,32              18,02              16,05              44,01              17,04

Berat kering sampah yang digunakan pada *ultimate analysis* adalah sebesar 13,03 gr. Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) densitas  $\text{CH}_4$  diketahui sebesar 0,7167 gr/L = 0,448 lb/ft<sup>3</sup>. Perhitungan produksi gas metan secara stoikiometri dengan membandingkan nilai koefisien dan molekul relatif (Mr.) adalah sebagai berikut.

$$\text{Volume CH}_4 = \frac{\text{koef} \text{C H}_4}{1} \times \frac{\text{Mr. CH}_4}{\text{Mr. C}_{13}\text{H}_{18}\text{O}_{10}\text{N}} \times \frac{\text{gr. sampa h}}{\rho \text{ CH}_4} \quad \dots 4.6$$

$$\text{Volume CH}_4 = \frac{5,88}{1} \times \frac{16,05}{348,32} \times \frac{13,03}{0,7176} = 4,92 \text{ L}$$

Berat sampah untuk tiap-tiap reaktor adalah sebesar 40 kg. Perbandingan produksi gas per berat bahan organik sampah adalah 0,492 L/gr, maka total produksi gas metan yang terbentuk untuk tiap reaktor adalah  $\pm 19,68 \times 10^6$  mL. Volume gas metan terbentuk didasarkan pada kondisi semua bahan organik yang terdapat dalam sampah telah terdegradasi.

#### 4.3.2. Pengaruh Terhadap Produksi Gas Harian

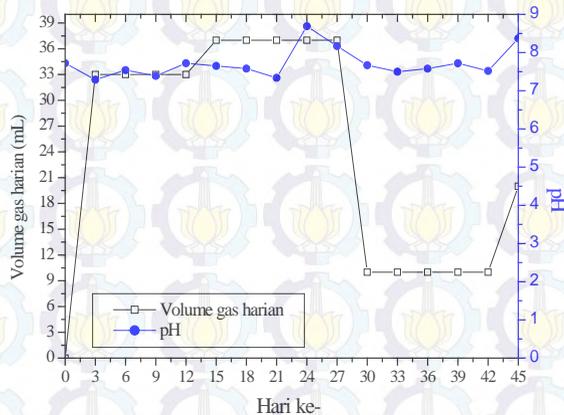
pH pada proses dekomposisi sampah akan berubah sesuai dengan tahap yang dilalui. Terdapat 5 (lima) tahap proses degradasi sampah (Warith *et al.*, 2005). Pada fase transisi yang merupakan fase terciptanya kondisi anaerobik mengakibatkan terbentuknya asam organik dan meningkatkan konsentrasi CO<sub>2</sub>. Proses ini berlangsung pada kisaran pH 6-7. Tahap kedua merupakan tahap pemecahan glukosa, asam amino, gliserol dan asam karboksilat menjadi CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>COOH dan alkohol. Proses pemecahan senyawa ini menghasilkan efek samping yakni terbentuknya gas hidrogen dan metana. Tahap ini dikenal dengan tahap asidifikasi yang menyebabkan penurunan pH hingga kisaran 4,7- 6,2 (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Produksi gas metana terjadi pada fase metanogenesis dimana pada tahap ini terjadi peningkatan nilai pH. Tahap metanogenesis berlangsung pada kondisi pH antara 6,8 – 8 (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Setelah melalui keempat tahap tersebut, sampah akan berada pada kondisi maturasi. Tahap maturasi ditandai dengan tingginya nilai pH yang berada pada kisaran 7,1-8,8. Pada tahap maturasi produksi gas akan menurun, hal ini disebabkan karena sebagian besar nutrient yang tersedia telah larut dalam lindi. Selain itu, kandungan organik di dalam sampah telah bersifat *slowly biodegradable*. Produksi gas metan akan stabil pada rentang pH tertentu. Bakteri metanogen pada tahap metanogenesis bekerja maksimal pada rentang pH 6,8-8 (Warith *et al.*, 2003). Pada kondisi pH di bawah 6,8 atau di atas 8

produksi gas akan menurun yang disebabkan oleh menurunnya aktivitas bakteri metanogen.

Perbandingan volume gas dan pH lindi pada R4 dapat dilihat pada Gambar 4.14. R4 merupakan reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt. Produksi gas yang dihasilkan oleh R4 dapat dibagi menjadi 3 tahap yakni pada hari ke-3 hingga hari ke-12, hari ke-15 hingga hari ke-27 dan hari ke-30 hingga hari ke-45. Pada tahap pertama jumlah gas yang dihasilkan sebanyak 33 mL tiap harinya. Pada tahap ini pH lindi berada pada rentang 7,2-7,7.

Berdasarkan Gambar 4.14, kondisi pH lindi pada hari ke-3 hingga ke-9 berada pada kisaran pH 7. Menurunnya nilai pH disebabkan karena terbentuknya komponen yang bersifat toksik seiring dengan meningkatnya kandungan asam organik (Kheradmand *et al.*, 2010). Kemudian pada hari ke-15 hingga hari ke-27 terjadi kenaikan pH dan memuncak pada pH 8,8. Bakteri yang bekerja pada tahap ini merupakan bakteri metanogen untuk mendegradasi sampah dan menghasilkan gas.



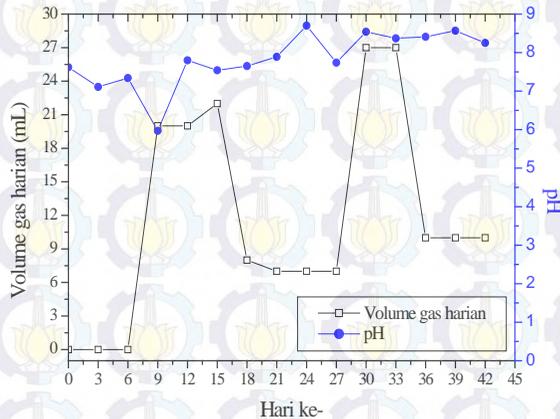
Gambar 4. 14 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi pada R4

Kenaikan pH ini seiring dengan penambahan volume gas. Volume gas yang dihasilkan tiap harinya dari hari ke-15 hingga ke-27 adalah sebesar 37 mL. Pada hari ke-30 hingga akhir

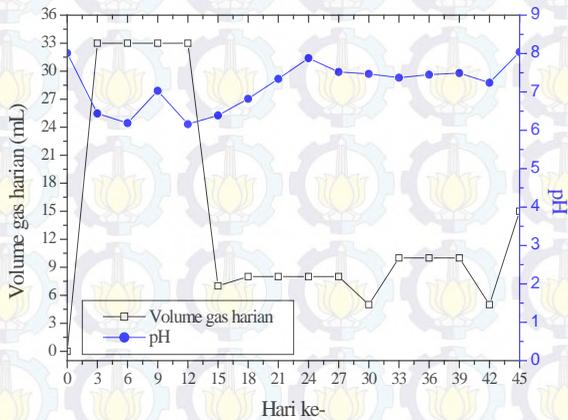
penelitian terjadi penurunan jumlah volume gas yang dihasilkan. Volume gas yang dihasilkan adalah sebesar 10 mL. Pada rentang waktu ini sedang terjadi fase maturasi. Fase maturasi merupakan fase akhir dari proses degradasi sampah. Pada fase ini, selain itu, adanya konsentrasi salinitas yang disirkulasikan pada tumpukan sampah menghambat aktivitas bakteri pada masa akhir penelitian.

Perbandingan volume gas dan pH lindi pada R5 dapat dilihat pada Gambar 4.15. R5 merupakan reaktor dengan resirkulasi lindi bersalinitas sebesar 6 ppt dan penambahan EM4 sebanyak 1 mL/L. Produksi gas terbesar yang dihasilkan oleh reaktor ini sebesar 27 mL/hari. Produksi gas yang cukup stabil ini juga dipengaruhi oleh tingkat kadar air yang dimiliki.

Nilai pH pada reaktor ini sempat menurun cukup tajam menjadi 6,19 pada hari ke-9 penelitian. Penurunan nilai pH menandakan bahwa proses degradasi sampah yang terjadi pada reaktor ini berada pada tahap asidifikasi. Tahap asidifikasi merupakan tahap terbentuknya asam organik yang dapat menurunkan nilai pH (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Kemudian pada hari ke-24, terjadi peningkatan nilai pH hingga mencapai angka 8,7.



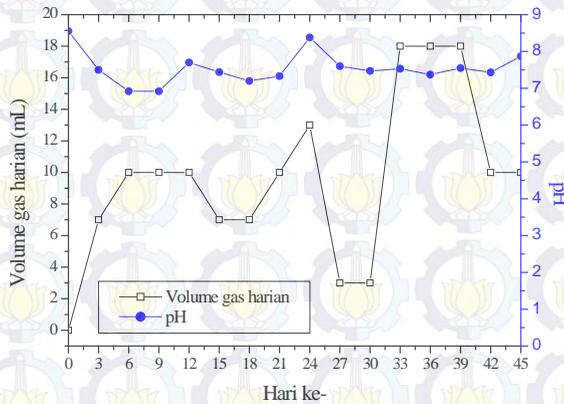
Gambar 4. 15 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi pada R5



Gambar 4. 16 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi pada R6

Tidak jauh berbeda dengan R4, produksi gas pada R6 juga rendah. Perbandingan antara volume gas terbentuk dan pH pada R6 dapat dilihat pada Gambar 4.16. Produksi gas terbesar yang dapat dihasilkan oleh reaktor ini adalah sebesar 33 mL/hari. Produksi gas terbesar ini terjadi pada hari ke-3 hingga hari ke-12, kemudian mengalami penurunan hingga akhir penelitian. Penurunan produksi gas ini selain disebabkan karena adanya salinitas, juga disebabkan karena kadar air dalam reaktor ini hanya sebesar 44 %.

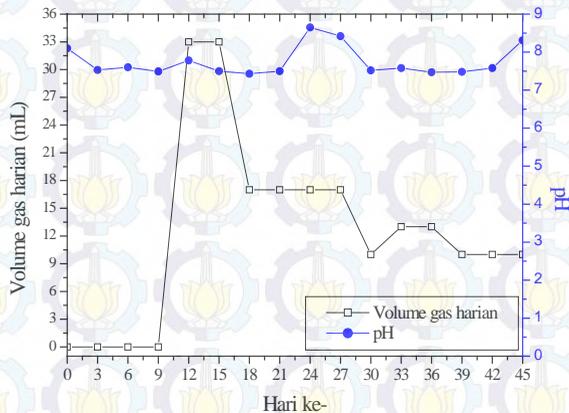
Nilai pH lindi yang dihasilkan oleh R6 cenderung berada pada kisaran angka 6,5 – 7,5. Nilai pH yang dimiliki oleh reaktor ini merupakan nilai pH yang paling kecil jika dibandingkan dengan reaktor lainnya. Hal ini kemungkinan disebabkan terdapat kandungan sampah yang berbeda di dalam reaktor.



Gambar 4. 17 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi pada R7

Gambar 4.17 merupakan gambar perbandingan antara parameter volume gas terbentuk dengan pH lindi pada R7. R7 merupakan reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt. Produksi volume gas pada reaktor ini terus meningkat hingga pada hari ke-27 walaupun sempat mengalami penurunan hingga hari ke-30 dan meningkat kembali hingga hari ke-33 penelitian yakni sebesar 18 mL/hari. Nilai pH pada R7 berfluktuatif. Pada hari ke-24 penelitian, terjadi kenaikan pH menjadi 8,44. Produksi gas terbesar yang dihasilkan oleh R7 adalah sebesar 18 mL dengan rentang nilai pH berkisar pada angka 7,5. R7 merupakan reaktor ke-2 setelah R9 yang memiliki produksi gas harian terbanyak diantara reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt.

Selain faktor salinitas, kadar air juga berperan cukup penting dalam proses terbentuknya gas. Ham (1994) menuturkan bahwa aktivitas mikroorganisme untuk mendegradasi sampah sehingga dihasilkan gas efektif pada kadar air 40 % - 50 % dan minimum pada kadar kelembaban sekitar 12 %. Kadar air sampah R7 pada akhir penelitian sebesar 62 %. Kadar air pada reaktor ini sudah berada pada kondisi optimal untuk pembentukan gas, namun adanya konsentrasi salinitas yang tinggi dapat menghambat terbentuknya gas.



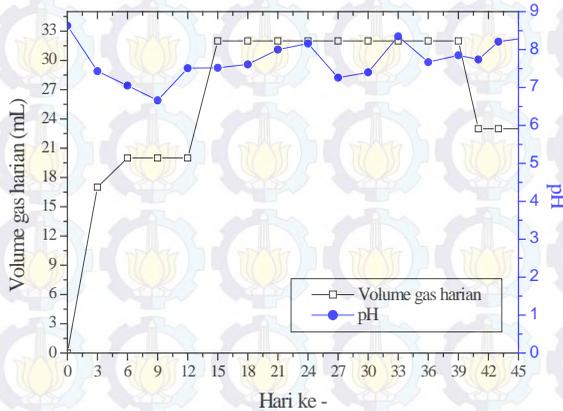
Gambar 4. 18 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi pada R8

Gambar 4.18 merupakan gambar perbandingan antara parameter volume gas terbentuk dengan pH lindi pada R8. R8 merupakan reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt dan penambahan EM4 sebanyak 1 mL/L. Produksi volume gas pada reaktor ini cukup rendah jika dibandingkan dengan reaktor yang lain. Produksi gas terbesar dihasilkan pada hari ke-12 hingga hari ke -15 dengan nilai pH sekitar 7. Kemudian volume gas mulai menurun hingga akhir penelitian. Pada hari ke-18 penelitian, gas yang dihasilkan oleh reaktor ini sebesar 17 mL/hari dan stabil pada volume 13 mL/hari.

Pada reaktor ini sempat terjadi kenaikan nilai pH yang cukup tajam yakni sekitar 8,65. Tingginya nilai pH ini tidak dapat diterima oleh bakteri yang bekerja pada kondisi anaerobik. Kenaikan nilai pH ini terjadi dikarenakan tingginya salinitas lindi yang disirkulasikan dimana salinitas bersifat toksik bagi mikroorganisme (Kheradmand *et al.*, 2010).

Selain faktor salinitas, kadar air juga berperan cukup penting dalam proses terbentuknya gas. Aktivitas mikroorganisme untuk mendegradasi sampah sehingga dihasilkan gas efektif pada kadar air 40 % - 50 % dan minimum pada kadar kelembaban sekitar 12% (Ham, 1994). Kadar air sampah R8 pada akhir penelitian

sebesar 56,83, %. Kadar air pada reaktor ini sudah berada pada kondisi optimal untuk pembentukan gas, namun adanya salinitas menghambat terbentuknya gas.



Gambar 4. 19 Perbandingan Volume Gas dan pH Lindi pada R9

Perbandingan volume gas dan pH lindi pada R9 dapat dilihat pada Gambar 4.19. R9 merupakan reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt dan penambahan EM4 sebanyak 3 mL/L. Produksi gas yang dihasilkan oleh R9 cenderung meningkat dan stabil pada volume 32 mL. Berdasarkan Gambar 4.18, kondisi pH lindi pada hari ke-3 hingga ke-9 mengalami penurunan dan berada pada kisaran 6,6-7. Kondisi pH pada awal penelitian ini menandakan bahwa sedang terjadi proses asidifikasi dalam sampah yang ditandai dengan gas yang dihasilkan pada tahap ini lebih rendah. Gas yang diproduksi pada tahap tersebut sebesar 20 mL setiap harinya.

Pada hari ke-15 hingga ke-39 penelitian, terjadi kenaikan nilai pH. Kenaikan pH ini seiring dengan kenaikan volume gas yang dihasilkan. Volume gas yang dihasilkan pada rentang hari tersebut sebesar 32 mL. Setelah hari ke-42 penelitian, terjadi penurunan produksi gas menjadi 23 mL tiap harinya. Penurunan volume gas yang terjadi dapat menggambarkan bahwa salinitas

menghambat aktivitas bakteri sehingga produksi gas pun terhambat. Nilai pH berperan dalam stabilisasi produksi gas. Namun nilai pH yang terlalu tinggi juga tidak baik bagi proses degradasi sampah. Kebanyakan mikroorganisme anaerob tidak bisa bertahan pada nilai pH di atas 8 sehingga terjadi penurunan kemampuan penguraian (Kheradmand *et al.*, 2010).

Selain parameter pH, salinitas juga memberikan pengaruh. Konsentrasi salinitas yang tinggi dapat meningkatkan plasmolisis di dalam sel mikroorganisme. Cairan sel akan keluar dan masuk ke dalam medium lingkungan, sehingga terjadi dehidrasi sel yang mengakibatkan sel mengerut dan kering. Plasmolisis di dalam sel yang besar dapat menyebabkan kematian pada mikroorganisme (Nurhayati, 2013). Volume gas akan menurun seiring dengan penurunan tingkat degradasi sampah.

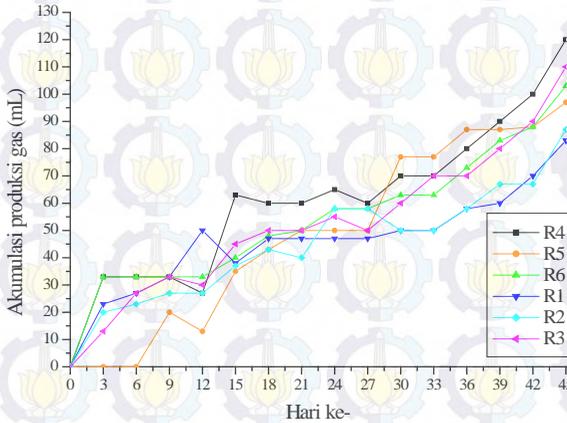
#### **4.3.3. Pengaruh Terhadap Akumulasi Gas Terbentuk**

Produksi gas yang dihasilkan oleh tiap reaktor berbeda-beda sesuai dengan proses degradasi sampah yang terjadi di dalamnya. Aktivitas bakteri turut berperan penting terhadap proses degradasi sampah. Pengukuran gas dilakukan pada waktu yang sama setiap harinya. Gas yang terbentuk terlebih dahulu diukur volumenya menggunakan gelas ukur yang dapat dilihat pada Gambar 3.2. Mulai terbentuknya gas pada tiap reaktor berbeda hari. R8 dan R5 merupakan reaktor yang paling lambat menghasilkan gas. Pada kedua reaktor tersebut, produksi gas mulai terjadi pada hari ke-12 dan ke-9.

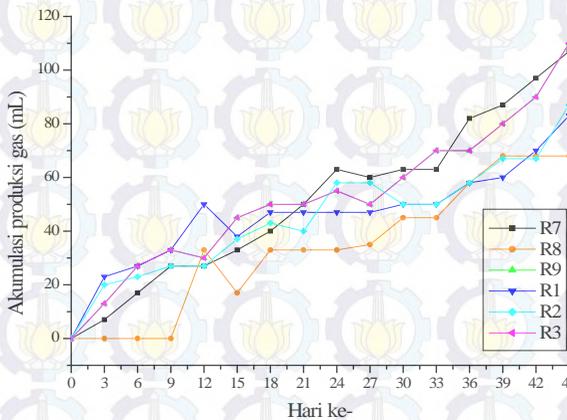
Besar akumulasi produksi gas pada reaktor dengan variasi 6 ppt dapat dilihat pada Gambar 4.20. Volume gas yang terbentuk pertama kali pada R4, R6 dan R5 berturut-turut adalah sebesar 33 mL, 33 mL dan 20 mL. Akumulasi gas terbesar pada reaktor dengan resirkulasi lindi bersalinitas sebesar 6 ppt dihasilkan oleh R5. Akumulasi produksi gas pada R5 sebesar 133 mL.

R7, R8 dan R9 juga mengalami kenaikan akumulasi produksi gas hingga akhir penelitian. R9 merupakan reaktor yang mengalami kenaikan jumlah produksi gas paling besar dari awal hingga akhir penelitian dengan total produksi gas terbentuk

sebesar 120 mL. Berdasarkan Gambar 4.19 dan 4.20, akumulasi produksi gas pada reaktor dengan salinitas 6 ppt lebih besar dari pada reaktor dengan resirkulasi lindi 10 ppt.



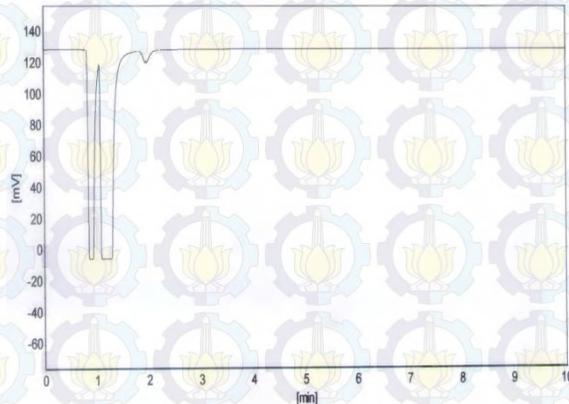
Gambar 4. 20 Akumulasi Produksi Gas Pada Variasi 6 ppt



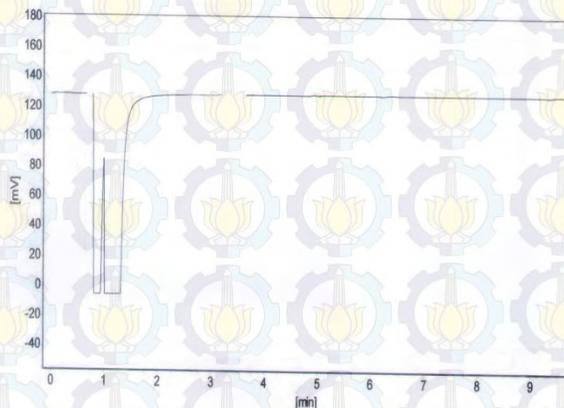
Gambar 4. 21 Akumulasi Produksi Gas pada Variasi 10 ppt

Produksi gas sebagai hasil dari dekomposisi anaerobik biasanya terdiri dari gas  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{NH}_3$  (Pohland *et al.*, 1996). Komposisi gas terbentuk dapat dilihat menggunakan analisis GC yang dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan Gambar

4.23. Berdasarkan hasil analisis GC yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa pada proses dekomposisi anaerobik telah dihasilkan gas  $\text{CH}_4$ .



Gambar 4. 22 Hasil Analisis GC Produksi Gas pada R1



Gambar 4. 23 Hasil Analisis GC Produksi Gas pada R5

Produksi gas  $\text{CH}_4$  pada R1 memiliki luas sebesar 1,87 % dari total luas pada grafik sesuai Gambar 4.22. Sedangkan untuk R5 memiliki prosentase luas gas  $\text{CH}_4$  yang lebih kecil yakni sebesar

1,74 %. Tidak ditemukan adanya gas CH<sub>4</sub> pada analisis GC terhadap produksi gas R8 sebagai variasi salinitas 10 ppt. Luas area CH<sub>4</sub> yang terdeteksi oleh GC menggambarkan jumlah gas CH<sub>4</sub> yang terdapat dalam sampel. R1 sebagai reaktor kontrol memiliki luas area CH<sub>4</sub> yang lebih besar dibandingkan dengan R5 dan R8 sebagai reaktor dengan resirkulasi lindi bersalinitas.

#### 4.4. Persamaan Kinetika Laju Degradasi Sampah

Laju reaksi proses degradasi sampah yang digunakan pada penelitian ini mengikuti hukum kinetika laju reaksi orde satu. Faktor yang berperan dalam analisis kinetika laju reaksi adalah COD lindi. Penurunan konsentrasi COD menunjukkan adanya perubahan bentuk dari asam volatil dan gas H<sub>2</sub> menjadi CO<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub>. Peningkatan nilai laju degradasi sampah akan berbanding terbalik dengan penurunan kandungan COD lindi yang ditandai dengan peningkatan jumlah gas.

Persamaan kinetika laju degradasi sampah berfungsi untuk mengetahui nilai konstanta (*k*) pada hukum kinetika laju reaksi orde satu (Tomei *et al.*, 2008). Persamaan yang digunakan dalam orde satu adalah :

$$-dS / dt = k.S \quad \dots 4.7$$

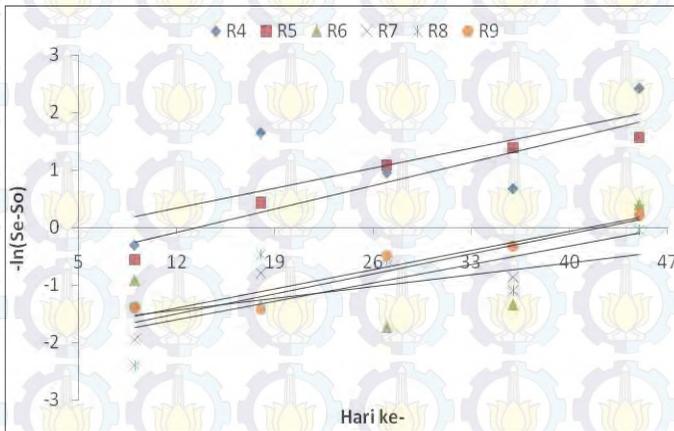
$$-\int_{S_0}^S \frac{dS}{S} = k \int_0^t dt \quad \dots 4.8$$

$$- (\ln S - \ln S_0) = kt \quad \dots 4.9$$

$$- k = \ln (S/S_0) / (t-t_0) \quad \dots 4.10$$

Nilai COD lindi awal (*S*<sub>0</sub>) digunakan sebagai data acuan. Pada hukum kinetika laju reaksi orde satu degradasi nilai COD dinyatakan dengan  $-\ln (S_e/S_0)$ . Data series yang diperoleh dari nilai  $-\ln(S_e-S_0)$  diplotkan ke dalam grafik sehingga diperoleh persamaan regresinya. Nilai yang dimasukkan sebagai *S<sub>e</sub>* merupakan nilai COD pada hari ke-*t*. Pada penelitian ini, untuk perhitungan laju degradasi sampah menggunakan nilai COD lindi yang bersalinitas.

Berdasarkan pada Gambar 4.24, laju degradasi sampah pada R9 sesuai dengan persamaan kinetik orde kesatu dengan nilai  $R^2 > 0,9$ . Terlihat bahwa persamaan laju degradasi pada reaktor ini memiliki nilai  $R^2$  sebesar 0,9191. Sedangkan pada R5, ditunjukkan bahwa reaktor tersebut memiliki nilai R9 sebesar 0,9056. Kurva persamaan regresi untuk R5 dapat dilihat pada Gambar 4.23, sedangkan nilai  $k$  dan intersept (b) pada R9 dan R5 dapat dilihat pada Tabel 4.14.



Gambar 4. 24 Persamaan Regresi Laju Degradasi Sampah

Tabel 4. 9 Hasil Analisis Persamaan Laju Degradasi Sampah

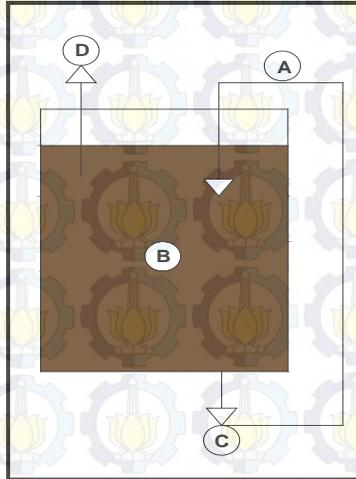
Reaktor ke-	Persamaan	$k$ (kg/hari)	b	$R^2$
R4	$y = 0,0497x - 0,2648$	0,0497	0,2648	0,4758
R5	$y = 0,057x - 0,781$	0,057	0,781	0,905
R6	$y = 0,0324x - 1,8102$	0,0324	1,8102	0,3275
R7	$y = 0,0488x - 2,0858$	0,0488	2,0858	0,7275
R8	$y = 0,0454x - 2,1391$	0,0454	2,1391	0,5026
R9	$y = 0,047x - 1,967$	0,047	1,967	0,919

R5 memiliki nilai laju degradasi sampah yang lebih besar jika dibandingkan dengan R9. Nilai laju degradasi sampah pada R5 yaitu sebesar 0,057 kg/hari. Sedangkan laju degradasi sampah pada R9 sebesar 0,047 kg/hari. Hal ini terjadi karena beban salinitas yang ditambahkan pada R9 lebih besar daripada R5. Pada penelitian ini, diketahui bahwa nilai salinitas berpengaruh terhadap laju degradasi sampah. Hal ini dibuktikan dengan nilai laju degradasi R9 lebih rendah daripada R5. Berbeda dengan R9 dan R5, laju degradasi sampah pada R4, R6, R7, dan R8 tidak memenuhi persamaan kinetika laju reaksi orde satu. Dikatakan tidak memenuhi laju reaksi orde satu dapat dilihat dari nilai  $R^2 < 0,9$ . Nilai  $R^2$  menggambarkan banyaknya data yang diwakili oleh garis linear sebagai persamaan regresi. Adanya salinitas pada lindi telah memberikan pengaruh terhadap laju degradasi sampah.

#### **4.5. Keseimbangan Massa (*Mass Balance*) Bahan Organik**

Keseimbangan massa bahan organik yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah keseimbangan sebagai akibat resirkulasi lindi bersalinitas dan penambahan bioaktivator EM4. Keseimbangan massa bahan organik pada kondisi anaerobik dapat dilihat pada Gambar 4.25. Analisis terhadap keseimbangan massa bahan organik bertujuan untuk mengetahui perbandingan prosentase bahan organik yang larut di dalam lindi dan tertahan di dalam sampah. Hasil dari keseimbangan massa bahan organik dapat menjadi indikator pengaruh resirkulasi lindi bersalinitas dan penambahan bioaktivator terhadap proses degradasi sampah. Perhitungan keseimbangan massa pada penelitian didasarkan pada besar konsentrasi COD lindi yang dihasilkan oleh tiap-tiap reaktor. Parameter COD lindi akan dikonversi menjadi satuan massa. Perhitungan untuk mengkonversi nilai COD menjadi satuan massa dapat menggunakan rumus (4.11)

$$\text{Massa (mg)} = Q \text{ (L)} \times \text{konsentrasi COD (mg/L)} \quad \dots 4.11$$



Gambar 4. 25 Kestimbangan Massa COD Lindi

Berdasarkan Gambar 4.25, maka kesetimbangan massa COD lindi dapat dicari dengan menggunakan rumus 4.12.

$$g.\text{COD (a)} = g.\text{COD (b)} + g.\text{COD (c)} + g.\text{COD (d)} \quad \dots 4.12$$

Keterangan :

- (a) = COD lindi yang dimasukkan ke reaktor sebagai resirkulasi
- (b) = COD lindi yang terserap + COD lindi yang terdegradasi oleh sampah
- (c) = COD lindi yang keluar setelah resirkulasi + COD lindi yang dihasilkan oleh sampah dari dalam reaktor
- (d) = COD lindi yang berubah menjadi gas metana

Sebagai contoh, perhitungan kesetimbangan massa bahan organik pada R9 adalah sebagai berikut.

Perhitungan pada R9

$$\text{Massa (mg)} = Q \text{ (L)} \times \text{konsentrasi COD (mg/L)}$$

$$\begin{aligned}
 (a) &= Q \times C \\
 &= (7,2 \text{ L} \times 4.480 \text{ mg/L}) \\
 &= 32.256 \text{ mg} \\
 &= 32,256 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (c) &= Q \times C \\
 &= (0,2 \text{ L} \times 3.600 \text{ mg/L}) \\
 &= 720 \text{ mg} \\
 &= 0,72 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (d) &= P \times V &&= n \times R \times T \\
 1 \text{ atm} \times 24,76 \text{ L} &&&= n \times 0,082 \times (33 + 273) \\
 24,76 &&&= 25,092 n \\
 n &&&= 0,99
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus kimia sampah pada perhitungan sebelumnya, yakni :



Mr.	220,18	18,02	16,05	44,01	17,04
-----	--------	-------	-------	-------	-------

$$\begin{aligned}
 \text{Massa } CH_4 &= n \times Mr. \\
 &= 0,99 \times (2,74 \times 16,05) \\
 &= 0,15 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (b) &= (a) - (c) - (d) \\
 &= 32,256 - 0,72 - 0,15 \\
 &= 31,38 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

Sehingga kesetimbangan massa untuk R9 adalah sebagai berikut:

g.COD (a)	g.COD (b)	g. COD (c)	g. COD (d)
32,26 gr	0,15 gr	31,38 gr	0,72 gr

Perhitungan kesetimbangan massa menggunakan cara di atas juga berlaku bagi reaktor lainnya. Kesetimbangan massa untuk reaktor lain dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Analisis *Mass Balance* Tiap Reaktor

Reaktor ke-	COD (a) gr	COD (b) gr	COD (c) gr	COD (d) gr
R4	0,10	125,55	3,38	129,02
R5	0,08	107,81	2,70	110,59
R6	0,10	38,86	7,12	46,08
R7	0,03	24,66	2,96	27,65
R8	0,14	11,99	1,69	13,82
R9	0,15	31,38	0,72	32,26

Keterangan :

- (a) = COD lindi yang dimasukkan ke reaktor sebagai resirkulasi
- (b) = COD lindi yang terserap + COD lindi yang terdegradasi oleh sampah
- (c) = COD lindi yang keluar setelah resirkulasi + COD lindi yang dihasilkan oleh sampah dari dalam reaktor
- (d) = COD lindi yang berubah menjadi gas metana

Tabel 4. 11 Hasil Analisis Prosentase *Mass Balance*

Reaktor ke-	COD (a) %	COD (b) %	COD (c) %	COD (d) %
R4	0,07	97,31	2,62	100,00
R5	0,07	97,48	2,45	100,00
R6	0,22	84,33	15,45	100,00
R7	0,10	89,20	10,70	100,00
R8	1,04	86,74	12,23	100,00
R9	0,47	97,29	2,23	100,00

Prosentase kesetimbangan massa untuk tiap reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.11. Pada penelitian ini, sebagai contoh diperoleh bahwa pada R9 kesetimbangan massa dari bahan organik yang dimasukkan ke dalam reaktor sebesar 0,47 % diubah menjadi gas metan, 2,23 % COD keluar dan tersisa sebagai lindi 97,29 % tertahan di dalam sampah. Besarnya

prosentase COD yang tertahan di dalam sampah menunjukkan bahwa telah terjadi proses penyerapan oleh sampah sehingga menghambat proses degradasi. Hasil analisis dari kesetimbangan massa menyatakan bahwa resirkulasi lindi bersalinitas dapat menghambat produksi gas dan meningkatkan penyerapan COD di dalam sampah.

#### 4.6. Hasil Akhir Penelitian

Kondisi tumpukan sampah dalam reaktor dan *effluent* lindi pada akhir penelitian berbeda dengan kondisi saat awal penelitian. Kondisi pada akhir penelitian dapat digambarkan melalui karakteristiknya baik secara kimia maupun fisik. Setelah 45 hari penelitian, terjadi penyusutan volume dan massa sampah hampir di seluruh reaktor. Tumpukan sampah di dalam reaktor telah berubah warna menjadi kecoklatan, selain itu bentuknya mengecil jika dibandingkan dengan saat pertama dimasukkan ke dalam reaktor.

Lain halnya dengan perubahan yang terjadi pada lindi. Pada masa awal penelitian, lindi berwarna coklat jernih, setelah memasuki masa tengah penelitian, perlahan – lahan lindi berubah warna menjadi coklat pekat kemudian menghitam dan berbau sangat menyengat. Perubahan warna menjadi pekat ini disebabkan karena ikut terserapnya kandungan sampah ke dalam aliran lindi yang juga ditandai dengan meningkatnya konsentrasi COD lindi. Setelah memasuki tahap akhir penelitian, lindi berubah warna menjadi coklat jernih kembali dan tidak berbau

Besar penyerapan COD oleh sampah dapat dilihat pada Tabel 4.12. Berdasarkan Tabel 4.12 diketahui bahwa telah terjadi penyerapan oleh sampah yang ditandai dengan adanya peningkatan konsentrasi COD sampah di akhir penelitian. Adanya konsentrasi COD di dalam sampah dapat menggambarkan banyaknya bahan organik yang terdegradasi (Bhambulkar, 2011). Proses degradasi bahan organik yang terjadi akan berbeda pada setiap reaktor. Hal ini disebabkan oleh perbedaan aktivitas bakteri, dalam hal ini perbedaan aktivitas bakteri dikarenakan adanya resirkulasi lindi bersalinitas ke dalam tumpukan sampah.

Tabel 4. 12 Besar Penyerapan COD Sampah

Nilai COD Reaktor ke-	R3	R6	R5	R8	R4	R2
COD awal sampah (mg/L)	1.598	1.598	1.598	1.598	1.598	1.598
L-9	24.320	26.880	16.000	26.880	21.120	17.920
S-9	4.262	4.262	1.598	1.598	1.066	4.795
Total COD	28.582	31.142	17.598	28.478	22.186	22.715
Besar penyerapan oleh sampah (mg/L)	2.664	2.664	0	0	-533	3.197
L-18	3.456	9.984	24.960	8.448	3.072	18.432
S-18	9.058	5.328	7.992	4795	6.926	6.394
Total COD	12.514	15.312	32.952	13243	9.998	24.826
Besar penyerapan oleh sampah (mg/L)	7.459	3.730	6.394	3.197	5.328	4.795
L-27	6.912	5.184	36.096	6.336	3.360	7.280
S-27	6.926	2.664	6.926	6.926	7.459	4.262
Total COD	13.838	7.848	43.022	13.262	10.819	11.542
Besar penyerapan oleh sampah (mg/L)	5.328	1.066	5.328	5.328	5.861	2.664
L-36	9.120	3.840	24.320	9.120	5.760	6.240
S-36	5861	5328	7459	6394	5328	5861
Total COD	14.981	9.168	31.779	15.514	11.088	12.101
Besar penyerapan oleh sampah (mg/L)	4.262	3.730	5.861	4.795	3.730	4.262
L-45	10.000	4.800	7.600	2.800	8.800	7.200

Nilai COD Reaktor ke-	<b>R3</b>	<b>R6</b>	<b>R5</b>	<b>R8</b>	<b>R4</b>	<b>R2</b>
S-45	2.131	4.262	2.664	3.197	1.598	4.795
Total COD	12.131	9.062	10.264	5.997	10.398	11.995
Besar penyerapan oleh sampah (mg/L)	533	2.664	1.066	1.598	0	3.197

Nilai pH lindi tertinggi dialami oleh R5 dan R8. R5 memiliki nilai pH tertinggi sebesar 8,7, sedangkan R8 memiliki nilai pH tertinggi sebesar 8,65. Hasil analisis perbandingan nilai pH pada lindi dapat dilihat pada Tabel 4.13. Berdasarkan Tabel 4.13, dapat diketahui bahwa nilai pH puncak yang terjadi pada setiap reaktor memiliki nilai yang hampir sama. Hal ini menandakan bahwa salinitas pada lindi yang diresirkulasikan dapat memberikan pengaruh pada nilai pH maksimal kira-kira sebesar  $\pm 8,7$ .

Tabel 4. 13 Hasil Analisis Perbandingan pH Lindi Berdasarkan Puncak Tertinggi

		Salinitas 6 ppt		
		R4	<b>R5</b>	R6
pH Tertinggi		8,69	<b>8,7</b>	8,04
	Salinitas 10 ppt			
		R7	<b>R8</b>	R9
		8,55	<b>8,65</b>	8,63

Tabel 4.14 merupakan tabel yang berisi perbandingan nilai pH sampah untuk masing – masing reaktor. Nilai pH sampah tertinggi untuk reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt terjadi pada R4. Sedangkan pada reaktor dengan variasi salinitas 10 ppt, nilai pH tertinggi terjadi pada R9 dan R3 untuk reaktor kontrol. Perbedaan perubahan antara nilai pH lindi dengan nilai pH

sampah yang terjadi pada R9 dan R3 disebabkan karena perbedaan kemampuan sampah untuk menyerap lindi dan mendegradasinya.

Tabel 4. 14 Hasil Analisis Perbandingan pH Sampah Berdasarkan Puncak Tertinggi

pH Tertinggi	Salinitas 6 ppt		
	R4	R5	R6
	<b>8,82</b>	8,55	8,55
	Salinitas 10 ppt		
	R7	R8	R9
	8,43	8,47	<b>8,63</b>
	Reaktor Kontrol		
	R1	R2	R3
	8,52	8,55	<b>9,06</b>

Tabel 4. 15 Hasil Analisis Perbandingan Kadar Air Sampah

Kadar Air Tertinggi	Salinitas 6 ppt		
	R4	R5	R6
	47,65 %	<b>51,31 %</b>	44,65 %
	Salinitas 10 ppt		
	R7	R8	R9
	62,91 %	56,84 %	<b>70,59 %</b>
	Reaktor Kontrol		
	R1	R2	R3
	52,22 %	47,43 %	<b>55,78 %</b>

Perbandingan kadar air untuk masing – masing reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.15. Berdasarkan Tabel 4.15, diketahui bahwa R5 memiliki kadar air terbesar untuk variasi salinitas 6 ppt, yakni sebesar 51,31 %. Sedangkan untuk variasi salinitas 10 ppt, kadar

air terbesar dimiliki oleh R9 yakni 70,59 %. Nilai kadar air pada R9 yang cukup tinggi ini disebabkan karena jumlah lindi yang diresirkulasikan juga besar. R3 merupakan reaktor dengan kadar air tertinggi untuk reaktor kontrol yakni sebesar 55,78 %.

Tabel 4. 16 Hasil Analisis Perbandingan COD Lindi Berdasarkan Efisiensi Penurunan Tertinggi

Efisiensi Penurunan COD Tertinggi	Salinitas 6 ppt	Salinitas 10 ppt
		R5
	83%	72,56%

Tabel 4.16 berisi perbandingan efisiensi penurunan konsentrasi COD lindi pada reaktor dengan variasi salinitas 6 ppt dan 10 ppt. Berdasarkan Tabel 4.16, didapatkan hasil bahwa R5 memiliki efisiensi penurunan terbesar, yakni 83 %. Prosentase penurunan konsentrasi COD pada R5 sebagai hasil terbaik juga terjadi pada hasil analisis laju degradasi sampah. Hasil analisis laju degradasi sampah dengan menggunakan laju kinetik orde satu memberi hasil bahwa R5 merupakan reaktor dengan laju degradasi terbesar yang memiliki nilai  $k$  sebesar 0,057 kg/hari.

Berdasarkan Tabel 4.17, R4 merupakan reaktor yang memiliki efisiensi penurunan COD sampah terbesar. R9 sebagai reaktor dengan variasi resirkulasi salinitas 10 ppt memiliki efisiensi penurunan konsentrasi COD terkecil. Hal ini disebabkan karena sampah pada R9 memiliki kemampuan penyerapan salinitas lindi yang cukup besar jika dibandingkan R4 dan R3. Adanya salinitas yang terserap oleh sampah telah menghambat aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik. Salinitas dapat menyebabkan terjadinya plasmolisis berlebih pada tubuh mikroorganisme (Nurhayati, 2013).

Tabel 4. 17 Hasil Analisis Perbandingan COD Sampah Berdasarkan Efisiensi Penurunan Tertinggi

Efisiensi Penurunan COD Tertinggi	Salinitas 6 ppt	Salinitas 10 ppt	Kontrol
	R4	R9	R3
	75%	47,06 %	71,43%

Hasil rekapitulasi analisis terhadap parameter dapat dilihat pada Tabel 4.18 dan Tabel 4.19. Data karakteristik akhir sampah setelah 45 hari penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.18 sedangkan data karakteristik akhir lindi dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Berdasarkan Tabel 4.18, diketahui bahwa telah terjadi penyusutan massa sampah yang terdapat di dalam reaktor. Penyusutan massa sampah terbesar terjadi pada R3 dengan besar penyusutan mencapai 8,496 kg (21, 25 %), sedangkan penyusutan terkecil dialami oleh R9 dengan besar penyusutan yakni 2,07 kg (0,83 %). Selain itu, terjadi kenaikan nilai pH pada tiap reaktor yang menandakan terjadinya proses degradasi sampah di dalam reaktor. Kenaikan nilai pH ini disebabkan karena terserapnya beban salinitas lindi oleh sampah.

Berdasarkan Tabel 4.19, diketahui bahwa telah terjadi penurunan nilai COD dan salinitas *effluent* lindi pada tiap reaktor. Penurunan nilai salinitas lindi disebabkan oleh terserapnya dan tertahannya kandungan organik maupun salinitas lindi oleh sampah saat lindi diresirkulasikan. Begitu pula dengan penurunan kandungan COD. Tertahannya kandungan organik lindi yang diresirkulasikan serta terjadinya proses degradasi sampah, menyebabkan turunnya kandungan COD pada lindi.

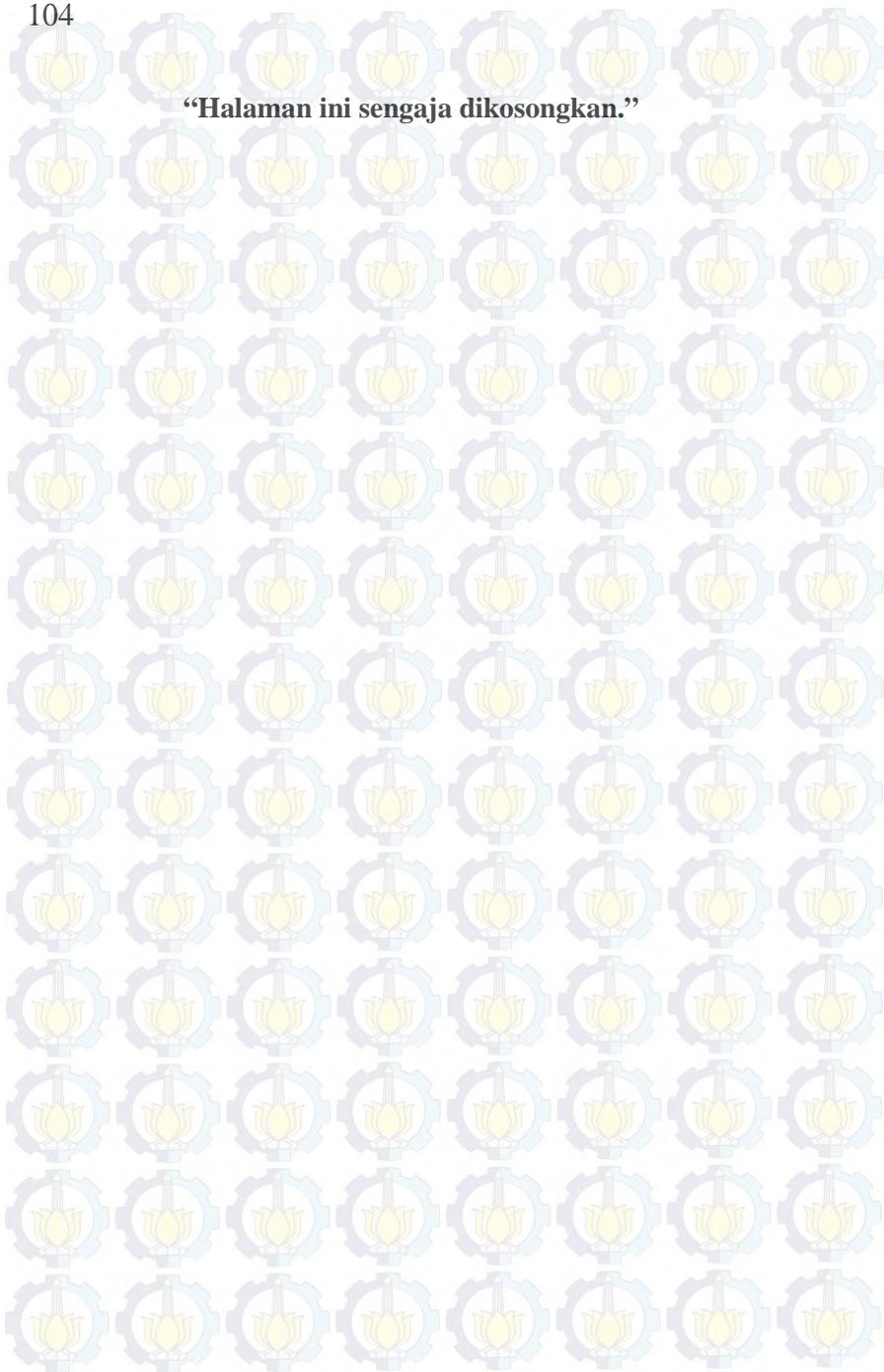
Tabel 4. 18 Hasil Analisis Karakteristik Sampah di Akhir Penelitian

PARAMETER	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
	<b>AWAL</b>								
Berat (kg)	40,079	40,418	39,972	39,971	39,977	40,467	40,016	39,97	39,124
pH	7,98	8,52	8,37	7,82	8,11	7,95	8,22	7,94	7,97
Salinitas (ppt)	0,33	0,37	0,43	0,4	0,36	0,44	0,26	0,63	0,29
Suhu (°C)	32,5	31	32	31,5	33	32	33	32,5	32
COD (mg/L)	1.598,4	1.598,4	1.598,4	1.598,4	1.598,4	1.598,4	1.598,4	1.598,4	1.598,4
<b>AKHIR</b>									
Berat (kg)	37,187	36,453	31,476	37,963	35,391	33,383	32,028	39,142	37,863
pH	8,33	8,45	8,52	8,19	8,36	8,55	8,43	8,02	8,11
Salinitas (ppt)	0,17	0,32	0,35	0,41	0,38	0,38	0,55	0,31	0,35
Suhu (°C)	32	33	33	33	34	33	33	32	32,5
COD (mg/L)	3.196,8	1.598,4	4.262,4	2.131,2	3.196,8	2.131,2	2.664	3.729,6	2.131,2

Tabel 4. 19 Hasil Analisis Karakteristik Lindi di Akhir Penelitian

PARAMETER	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
	<b>AWAL</b>								
pH	-	-	-	7,72	7,62	8,01	8,55	8,1	8,63
Salinitas (ppt)	-	-	-	7,83	7,62	7,16	7,43	9,99	10,1
BOD (mg/L)	-	-	-	2.080,8	1.665,0	2.775,0	832,3	832,3	2.775,0
COD (mg/L)	-	-	-	17.920	15.360	6.400	3.840	1.920	4.480
<b>AKHIR</b>									
pH	-	-	-	7,52	8,25	7,24	7,43	7,58	7,74
Salinitas (ppt)	-	-	-	7,22	7,93	8,01	8,03	8,36	8,4
BOD (mg/L)	-	-	-	774,2	369,9	1.248,5	354,1	605,2	708,3
COD (mg/L)	-	-	-	10.000	4.800	7.600	9.600	8.800	7.200

**“Halaman ini sengaja dikosongkan.”**



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini adalah :

1. Semakin tinggi nilai konsentrasi salinitas maka semakin rendah efisiensi penurunan kandungan organik dalam sampah. Laju degradasi sampah semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi salinitas. Hal ini ditunjukkan dengan nilai laju degradasi pada variasi salinitas 10 ppt yang lebih rendah 1,2 kali lipat daripada variasi 6 ppt. Penambahan EM4 untuk variasi salinitas tidak memberikan pengaruh yang signifikan.
2. Resirkulasi lindi bersalinitas memberikan pengaruh terhadap potensi produksi dan komposisi gas. Berdasarkan hasil analisis GC, diperoleh bahwa semakin tinggi konsentrasi salinitas maka semakin rendah prosentase gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan. Pada penelitian ini, produksi gas pada reaktor dengan salinitas 6 ppt bernilai 1,2 kali lipat lebih besar jika dibandingkan reaktor dengan salinitas 10 ppt.
3. Berdasarkan hasil analisis kesetimbangan massa, diperoleh prosentase COD yang tertahan pada sampah lebih besar dibandingkan dengan yang terkonversi menjadi gas. Hal ini menunjukkan bahwa adanya resirkulasi lindi bersalinitas dapat meningkatkan penyerapan di dalam sampah. Prosentase kemampuan penyerapan COD oleh sampah mencapai 97 %.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran yang dapat diajukan berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada penelitian ini agar dapat dijadikan perbaikan pada penelitian selanjutnya adalah :

1. Perlu dilakukan aklimatisasi terhadap proses resirkulasi lindi sehingga bakteri di dalam sampah sudah beradaptasi dengan lindi yang akan diresirkulasikan.
2. Perlu dilakukan analisis terhadap jenis bioaktivator yang mampu bertahan pada kondisi salinitas yang tinggi pada lindi dan sampah.
3. Perlu dilakukan analisis terhadap jumlah dan jenis mikroorganisme yang berkembang biak di dalam reaktor.
4. Lindi yang diresirkulasikan sebaiknya memiliki volume yang sama setiap harinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abu, Q.H.A. dan Alsheraideh, A.A. 2008. "Kinetics of Solid Waste Biodegradation in Laboratory Lysimeters". Jordan Journal of Civil Engineering, Vol. 2, No.1, pp : 45 – 52.
- Al-Kaabi, S. 2007. "Effect of Salinity on Biodegradation of MSW in Bioreactor Landfills". Department of Civil and Environmental Engineering, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada.
- APHA, AWWA, AWPCF. 1995. "Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater, 21<sup>th</sup> Edition". McGraw-Hill : Washington DC.
- Arasan, S. dan Temel, Y. 2008. "Effect of Inorganic Salt Solutions on The Consistency Limits of Two Clays". Turkish Journal Engineering Environmental Science, Vol. 28, pp : 107 – 115.
- Arbain, Mardana, N.K. dan Sudana, I.B. 2003. "Pengaruh Air Lindi Tempat Pembuangan Akhir Sampah Suwung Terhadap Kualitas Air Tanah Dangkal di Sekitarnya di Kelurahan Pedungan Kota Denpasar". Ecotrophic, Vol. 3, No. 2. pp : 55 – 60.
- Arofah, U. 2012. "Pengaruh Resirkulasi Lindi Terhadap laju Degradasi Sampah di TPA Ngipik, Gresik". Tugas Akhir. Teknik Lingkungan : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Asgari, M.J., Safavi, K., dan Mortzaeinezhad, F. 2011. "Landfill Biogas Production Process". International Conference on Food Engineering and Biotechnology (IPCBE), Vol. 9, pp : 208-212.
- Badan Lingkungan Hidup. 2011. "Pengelolaan Sampah dan Rekomendasinya". BLH : Gresik.
- Benbelkacem, H., Bayard, R., Abdelhay, A., Zhang, Y., dan Gourdon, R. 2010. "Effect of Leachate Injection Modes on Municipal Solid Waste Degradation in Anaerobic

- Bioreactor". *Bioresource Technology*, Vol. 101, pp : 5206 – 5212.
- Bhambulkar, A.V. 2011. "Effects of Leachate Recirculation on a Landfill". *International Journal of Advance Engineering Sciences and Technology (IJAEST)*, Vol.11, No.2, pp : 286-291.
- Bilgili, M.S., Demir, A., dan Ozkaya, B. 2007. "Influence of Leachate Recirculation on Aerobic and Anaerobic Decomposition of Solid Wastes". *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 143, pp : 177 – 183.
- Borglin, S.E, Terry C.H., Curtis M.O., dan Peter T.Z. 2004. "Comparison of Aerobic and Anaerobic Biotreatment of Municipal Solid Waste". *Air and Waste Management Association*, Vol. 54, pp:815-822.
- Bugler, A.J., Monaco, M.E., dan McCormick-Ray, M.G. 1993. "Biologically-based Estuarine Salinity Zones Derived from Multivariate Analysis". *Estuaries Journal*, Vol. 16, pp : 311 – 322.
- Chan, G.Y., Chu, L.M., dan Wong, M.H. 2002. "Effects of leachate Recirculation on Biogas Production from Landfill Co-disposal of Municipal Solid Waste, Sewage Sludge and Marine Sediment". *Environmental Pollution*, Vol. 118, pp : 393 – 399.
- Cheng, C.Y., Tsang, C.K., Wong, R.S.K., dan Chu, L.M. 2011. "Is Landfill Leachate a Potential Source of Nitrogen for Plant Growth". *International Conference on Environment and Industrial Innovation (IPCBEI)*, Vol. 12, pp : 287 – 295.
- David, E.D. 1993. "Geotechnical Practice for Waste Disposal". Chapman and Hall : London.
- Filipkowska, U. 2008. "Effect of Recirculation Method on Quality of Landfill Leachate and Effectiveness of Biogas Production". *Polish Journal of Environmental Study*, Vol. 17, No.2, pp : 199-207.

- Francois, V., Feuillade, G., Matejka, G., Lagier, T., dan Skhiri, N. 2007. "Leachate Recirculation Effects on Waste Degradation : Study on Columns". Waste Management, Vol. 27, pp : 1259 – 1272.
- Goenadi, D.H. dan Laksmi, P.S. 2006. "Application of EM4 Bio-activator in Composting Sugar Cane Solid Organic Wastes". Buletin Agronomi, Vol. 34, No.3, pp : 173 – 180.
- Ham, R.K. 1994. "Predicting Gas Generation from Landfills". Waste Age, pp : 50 – 58.
- Hao, Y.J., Wu, W.X., Wu, S.W., Sun, H. dan Chen, Y.X. 2008. "Municipal Solid Waste Decomposition Under Oversaturated Condition in Comparison with Leachate Recirculation". Process Biochemistry, Vol. 43, No. 1, pp : 108 – 112.
- Hastuti, E.D. 2009. "Aplikasi Kompos Sampah Organik Berstimulator EM4 untuk Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea Mays*, L.) pada Lahan Kering".
- He, P.J., Feng, X.W., Qu, X., Li, G.J. dan Lee, D.J. 2005. "Effects of Feed Solutions on Refuse Hydrolysis and Landfill Leachate Characteristics". Chemosphere, Vol. 59, No. 6, pp : 837 – 844.
- He, P.J., Xue, J.F., Shao, L.M., Li., G.J. dan Lee, D.J. 2006. "Dissolved Organic Matter (DOM) in Recycled Leachate of Bioreactor Landfill". Water Research, Vol. 40, pp : 1465 – 1473.
- He, R., Liu, X., Zhang, Z. dan Shen, D. 2007. "Characteristic of The Bioreactor Landfill System Using an Anaerobic-aerobic Process for Nitrogen Removal". Bioresource Technology, Vol. 98, pp : 2526 – 2532.
- Indriani, Y.H. 2002. "Membuat Kompos Secara Kilat". PT. Penebar Swadaya : Jakarta.
- Isroi. 2013. "Pengomposan Limbah Padat Organik". <http://www.ipard.com/>, diakses pada Minggu, 29 September 2013, pukul 11.47.

- Jigar, E., Sulaiman, H., Asfaw, A. dan Bairu, A. 2011. "Study on Renewable Biogas Energy Production from Cladodes of *Opuntia ficus Indica*". ISABB Journal of Food and Agriculture Science, Vol.1, No. 3, pp : 44-48.
- Kanti, A. 2005. "Actinomycetes Selulolitik dari Tanah Hutan Taman Nasional Bukit Duabelas, Jambi". Biodiversitas, Vol. 6, No. 2, pp : 85 – 89.
- Kawai, M., Purwanti, I.P., Nagao, N., Hermana, J., dan Toda, T. 2009. "Chemical Characteristics of Leachate at The Benowo Landfill in Surabaya, Indonesia". Journal of Environmental Management, Vol. 110, pp : 267 – 275.
- Kheradmand, S., Jashni, A.K., dan Sartaj, M. 2010. "Treatment of Municipal Landfill Leachate Using a Combined an and Activated Sludge System". Journal of Waste Management, Vol. 30, pp : 1025-1031.
- Krzystek, L., Ledakowicz, S., Kahle, H.O., dan Kaczorek, K. 2001. "Degradation of Household Biowaste in Reactor". Journal of Biotechnology, Vol. 92, pp :103-112.
- Lee, A.H., Nikraz, H., dan Hung, Y.T. 2010. "Characterization of Acetogenic and Methanogenic Leachates Generated from A Sanitary Landfill Site". World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 43, pp : 798 – 803.
- Lim, Y.G., Niwa, C., Nagao, N., dan Toda, T. 2008. "Solubilization and Methanogenesis of Blue Mussels in Saline Mesophilic Anaerobic Biodegradation". International Biodeterioration & Biodegradation, Vol. 61, pp : 251 – 260.
- Loncnar, M., Zupancic, M., Bukovec, P., dan Justin, M.Z. 2010. "Fate of Saline Ions in A Planted Landfill Site Which Leachate Recirculation". Waste Management, Vol. 30, pp : 110 – 188.
- Mahmoudkhani, R., Hassani, A.H., Borghei, S.M., dan Torabian, A. 2011. "Study on Anaerobic Landfill Leachate Treatability by Membrane Bioreactor". International

Conference on Biology, Environment and Chemistry (IPCBEE), Vol. 1, pp 5 - 9.

Mali, S.T., Khare, K.C., dan Biradar, A.H. 2010. "Effect of Leachate Recirculation on Organic Waste and Leachate Stabilization in Anaerobic Bioreactor". International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET), Vol. 1, No.1, pp : 87-101.

Mali, S.T., Khare, K.C. dan Biradar, A.H. 2012. "Enhancement of Methane Production and Bio-stabilization of Municipal Solid Waste in Anaerobic Bioreactor Landfill". Bioresource Technology, Vol. 110, pp : 10 -17.

Mangkoediharjo, S. 2005. "Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Wilayah Pesisir dan Laut". Edisi Khusus Sarjana Teknik. Jurusan Teknik Lingkungan : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mangkoediharjo, S. 2009. "Revaluation of Maturity and Stability Indices for Compost". Journal Application Science Environment, Vol. 10, No.3, pp : 83-85.

Marton, J.M., Herbert, E.R. dan Craft, C.B. 2012. "Effects of Salinity on Denitrification and Greenhouse Gas Production from Laboratory-incubated Tidal Forest Soils". Wetlands, Vol. 32, pp : 347 – 357.

Mirwan, M. dan Rosariawan, F. 2012. "Optimasi Pematangan Kompos dengan Penambahan Campuran Lindi dan Bioaktivator Stardec". Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan, Vol. 4, No. 2, pp : 150 – 154.

Ni'am, A.C. 2013. "Efektifitas Eichornia crassipes dan Typha angustifolia dalam Mengolah Efluen Leachate dari TPA Ngipik, Gresik". Tesis. Jurusan Teknik Lingkungan : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Nurhayati, S. 2013. "Pengaruh Resirkulasi Lindi Bersalinitas Terhadap Pembentukan Gas di TPA Benowo". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

- Olguin, S. dan Forster, C. 2010. "A Comparison of The Effect of Salinity on Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Digestion". *Food Biotechnology*, pp : 248 – 252.
- Pacey, J., Augenstein, D., Morck, R., Reinhart, D. Dan Yazdani, R. 1999. "The Bioreactor Landfill - An Innovation In Solid Waste Management". <http://www.123seminaronly.com/>, diakses pada Rabu, 25 September 2013, pukul 14.06.
- Petchsri, P., Towprayoon, S., Chaiprasert, P. dan Nopharatanatana, A. 2004. "Biogas Production from Simulated Landfill Bioreactor with Leachate Recirculation under Various Waste Densities". The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)", 1-3 Desember, Hua Hin, Thailand.
- Petchsri, P., Towprayoon, S., Chaiprasert, P., dan Nopharatanatana, A. 2006. "The Effect of Precipitation on Municipal Solid Waste Decomposition and Methane Production in Simulated Landfill Bioreactor with Leachate Recirculation". *Songklanakarin Journal Science Technology*, Vol 28, No. 3, pp 615 – 631.
- Pohland, F.G. 1996. "Landfill Bioreactors : Historical Perspective, Fundamental Principles, and New Horizons in Design and Operations". <http://www.123seminaronly.com/>, diakses pada Rabu, 25 September 2013, pukul 16.10.
- Ratnaningrum, D. 2012. "Pengaruh Resirkulasi Lindi Mengandung Kapur [Ca(OH)<sub>2</sub>] Terhadap Laju Degradasi Sampah TPA Gunung Maddah, Sampang, Madura. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., dan Moulin, P. 2008. "Landfill Leachate Treatment : Review and Opportunities". *Journal of Hazardous Material*, Vol. 150, pp 468 – 493.

Rolle, E., Boni, M.R., dan Carucci, G. 1997. "Effects of Leachate Salinity on The Aerobic and Anaerobic Mineralization of The Municipal Solid Waste Organic Fraction". *Environmental Technology*, Vol. 18, No. 2, pp : 203 – 209.

Sanjaya, I.G. dan Puspita, T. 2010. "Pengaruh Penambahan Khitosan dan Plasticizer Gliserol pada Karakteristik Plastik Biodegradable dari Pati Limbah Kulit Singkong." Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kimia : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Sanphoti, N., Towprayoon, S., Chaiprasert, P., dan Nopharatana, A. 2006. "The Effect of Leachate Recirculation with Supplemental Water Addition on Methane Production and Waste Decomposition in A Simulated Tropical Landfill". *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 81, pp : 27 – 35.

Sawatdeearunat, C. 2008. "Effects of Leachate Recirculation on Anaerobic Treatment of Municipal Solid Waste". <http://home.eng.iastate.edu/> diakses pada tanggal 20 September 2013, pukul 13.17.

Supparattanapan, S., Saenjan, P., Quantin, C., Maeght, J.L. dan Grunberger, O. 2009. "Salinity and Organic Amendment Effects on Methane Emission from A Rain Fes Saline Paddy Field". *Japanese Soil Science and Plant Nutrition*, Vol. 55, pp : 142 – 149.

Sponza, D.T. dan Adgag, O.N. 2004. "Impact of Leachate Recirculation and Recirculation Volume on Stabilization of Municipal Solid Waste in Simulated Anaerobic Bioreactors". *Process Biochemistry*, pp : 1 – 9.

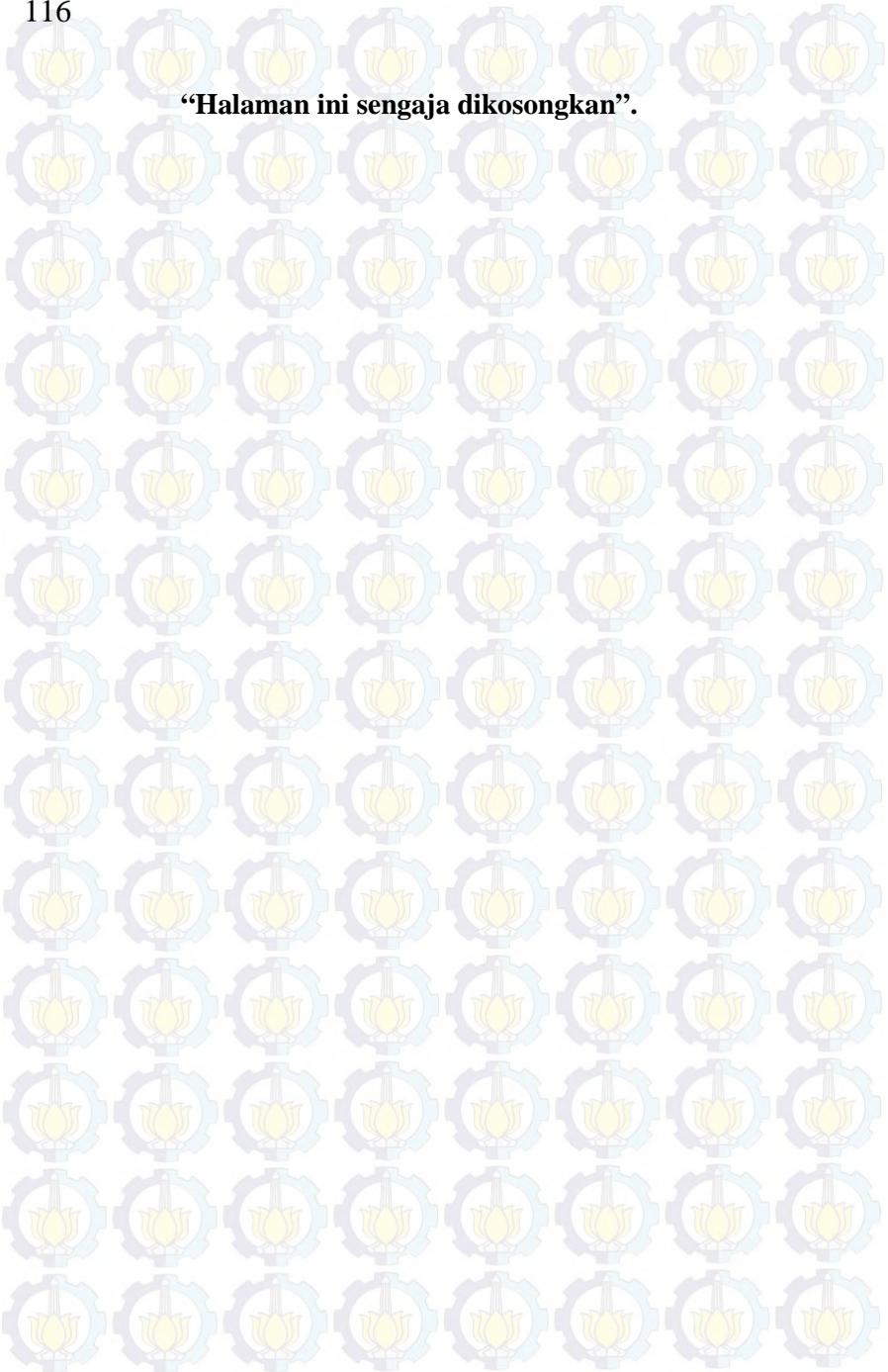
Sudibyo. 2011. "Pengaruh Resirkulasi Lindi Bersalinitas Terhadap Laju Degradasi Sampah TPA Benowo Surabaya". Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Sulistiyawati, E., Mashita, N. dan Choesin, D.N. 2008. "Effect of Decomposer Agents on The Quality of Compost

- Produced From Organic Domestic Waste”. Seminar Nasional Penelitian Lingkungan Universitas Trisakti, Jakarta.
- Tchobanoglous, G., Thiesen, H., dan Vigil, S.A. 1993. ”Integrated Solid Waste Management : Engineering Principles and Management Issues”. Mc. Graw-Hill International Editions. Civil Engineering Series.
- Thiphkhunthod, P., Meeyo, V., Rangsunvigitt, P., Kitiyanan, B., Sieamanond, K., dan Rirksomboon, T. 2005. ”Predicting The Heating Value of Sewage Sludges in Thailand from Proximate and Ultimate Analysis”. Fuel, Vol. 84, No. 7 – 8, pp : 849 – 857.
- Tomei, M.C., Braguglia, C.M. dan Mininni, G. 2008. “Anaerobic Degradation Kinetics of Particulate Organic Matter in Untreated and Sonicated Sewage Sludge : Role of the inoculum”. Bioresource Technology, Vol. 99, No. 14, pp: 6119 - 6126.
- Vaidya, R.D. 2002. ”Solid Waste Degradation, Compaction and Water Holding Capacity”. Master of Science in Environmental Engineering. Blacksburg : Virginia.
- Vesilind, P.A., William, W., dan Debra, R. 2002. ”Solid Waste Engineering”. Wadsworth Group : United States of America.
- Wahyuni, A. 2013. ”Peran Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Samarinda Dalam Pengelolaan Sampah di Kota Samarinda”. E-journal Ilmu Pemerintahan, Vol.1, No. 2, pp : 751 – 760.
- Wang, Q., Yasushi, M., Dong, L., Huang, Q., Hirano, F. Dan Tanaka, A. 2006. “Research on Leachate Recirculation from Different Types of Landfills”. Waste Management, Vol. 26, pp : 815 – 824.
- Warith, M., Li, X., dan Jin, H. 2005. “Bioreactor Landfills : State of The Art Review”. Emirates Journal for Engineering Research, Vol. 10, No.1, pp : 1-14.

- White, J., Robinson, J., dan Ren, Q.C. 2004. "Modelling The Biochemical Degradation of Solid Waste in Landfills". *Waste Management*, Vol. 24, No.3, pp : 227 – 240.
- Xing, W., Lu, W., Zhao, Y., Zhang, X., Deng, W., dan Christensen, T.H. 2013. "Environmental Impact Assessment of Leachate Recirculation in Landfill of Municipal Solid Waste by Comparing with Evaporation and Discharge (EASEWASTE)". *Waste Management*, Vol. 33, pp : 382 – 389.
- Yu, M., Zeng, G., Chen, Y., Yu, H., Huang, D., dan Tan, L. 2009. "Influence of *Phanerochaete chrysosporium* on Microbial Communities and Lignocellulose Degradation during Solid-state Fermentation of Rice Straw". *Process Biochemistry*,.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”.**



## LAMPIRAN A

### PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

#### 1. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Prinsip : *Closed Reflux*

Prosedur analisis :

1. Sampel lindi disiapkan sebanyak 10 mL.
2. Sampel lindi diencerkan sesuai kebutuhan.
3. 2 buah tabung COD disiapkan, kemudian dimasukkan sampel lindi yang telah diencerkan sebanyak 2,5 mL dan aquades sebanyak 2,5 mL sebagai blanko.
4. Larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) ditambahkan sebanyak 2 mL.
5. Larutan campuran asam ditambahkan (*sulfuric acid*) sebanyak 3,5 mL.
6. Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan erlenmeyer COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
7. Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan erlenmeyer dibiarkan hingga dingin.
8. Kondensor dibilas dengan aquades.
9. Indikator ferroin ditambahkan sebanyak 1 tetes.
10. Kedua erlenmeyer dititrasi menggunakan larutan standar FAS 0,05 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
11. Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol sampel}}$$

Keterangan :

A : mL FAS titrasi blanko

B : mL FAS titrasi sampel

N : normalitas larutan FAS

## 2. Analisis Permanganat Value (pV)

Prinsip : Dilakukan beberapa kali reaksi oksidasi pada kondisi asam dengan persamaan kimia sebagai berikut.



Nilai pV akan digunakan sebagai acuan penentuan pengenceran pada analisis BOD.

Prosedur analisis :

1. Sampel lindi disiapkan sebanyak 10 mL.
2. Sampel lindi diencerkan sesuai kebutuhan.
3. Ditambahkan 2,5 mL asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 4N bebas organik.
4. Ditambahkan beberapa tetes  $\text{KMnO}_4$  0,01 N hingga terbentuk warna merah muda dan tidak hilang selama  $\pm 10$  detik.
5. Dipanaskan hingga mendidih.
6. Ditambahkan 10 mL larutan  $\text{KMnO}_4$  0,01 N hingga berwarna ungu.
7. Dipanaskan kembali selama  $\pm 10$  menit. Jika warna larutan kembali bening ditambahkan kembali  $\text{KMnO}_4$  0,01 N.
8. Didinginkan selama  $\pm 5$  menit
9. Ditambahkan 1 mL asam oksalat 0,1 N dan ditunggu hingga larutan berwarna bening
10. Nilai pV dihitung menggunakan rumus :

$$\frac{1000}{\text{ml. sampel}} \times [(m+a) \times N] - (n \times 0,1) \times 31,6 \times P$$

Keterangan :

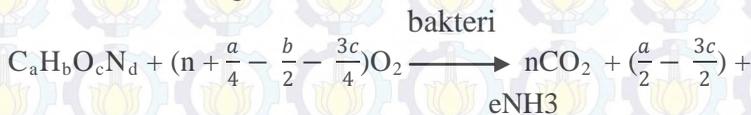
m = volume larutan  $\text{KMnO}_4$  yang ditambahkan saat dipanaskan

a = volume  $\text{KMnO}_4$  yang ditambahkan saat titrasi

- $N$  = normalitas  $KMnO_4$   
 $n$  = mL asam oksalat ditambahkan  
 $P$  = faktor pengenceran

### 3. Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Prinsip : Zat organik didegradasi oleh bakteri aerobik. zat organik dan oksigen diubah menjadi karbon dioksida, air dan amoniak dengan persamaan kimia sebagai berikut .



Setelah diinkubasi pada suhu  $20^\circ C$  selama 5 hari, diharapkan 75 % zat organik teroksidasi. Zat organik yang ada diukur melalui jumlah oksigen ( $O_2$ ) yang diperlukan bakteri untuk mengoksidasi zat organik. Oksigen pada  $t = 0$  berada pada konsentrasi jenuh, sehingga saat  $t = 5$ ,  $O_2 \geq 2 \text{ mg/L}$ . Jumlah zat organik yang dioksidasi setara dengan oksigen yang diperlukan dalam proses oksidasi.

Prosedur analisis :

1. Tingkat pengenceran pV ditentukan dengan persamaan :

$$P = \frac{\text{Nilai pV } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{5}$$

2. 1 buah labu ukur berukuran 500 mL disiapkan.
3. Sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran dituangkan ke dalam labu ukur kemudian ditambahkan air pengencer hingga tanda batas.
4. 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL disiapkan.

5. Sampel yang telah diencerkan dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winler 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati – hati.
6. Air pengencer dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winkler 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati – hati.
7. Larutan dalam botol winkler 300 mL dimasukkan ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari. Setelah 5 hari diinkubasi, segera dilakukan analisis DO.
8. Untuk larutan dalam botol winkler 150 mL segera dilakukan analisis DO
9. Analisis DO dilakukan dengan prosedur :
  - Larutan mangan sulfat ditambahkan sebanyak 1 mL.
  - Larutan pereaksi oksigen ditambahkan sebanyak 1 mL.
  - Botol ditutup dengan hati – hati agar tidak ada gelembung udaranya, kemudian dibolak-balikkan.
  - Gumpalan yang terbentuk dibiarkan mengendap selama 5 – 10 menit.
  - Larutan asam sulfat pekat ditambahkan sebanyak 1 mL kemudian botol ditutup dan dibolak – balikkan.
  - 100 mL larutan dituangkan ke dalam erlenmeyer 250 mL.
  - Indikator amillum ditambahkan sebanyak 3 – 4 tetes.
  - Larutan dititrasi dengan larutan Na-tiosulfat 0,0125 N hingga berubah menjadi jernih
  - Perhitungan DO dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$DO \text{ (mg/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

Keterangan : a : volume titran (mL)  
 N : normalitas larutan Na-tiosulfat (0,0125 N)  
 100 mL: voume sampel yang digunakan dalam titrasi

10. Perhitungan nilai BOD dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Keterangan :

$X_0$  : DO sampel pada  $t = 0$

$X_5$  : DO sampel pada  $t = 5$

$B_0$  : DO blanko pada  $t = 0$

$B_5$  : DO blanko pada  $t = 5$

P : derajat pengenceran

#### 4. Analisis pH

Prosedur analisis :

1. pH meter distandarisasi dengan menggunakan larutan buffer pH = 4, 7 dan 10.
2. Sampel diambil dan diletakkan ke dalam beaker glass.
3. Batang silinder pH meter dicelupkan ke dalam sampel.
4. pH meter akan menunjukkan pH larutan secara digital.

#### 5. Analisis Salinitas

Salinitas merupakan jumlah mineral yang terlarut dalam air yang biasanya dinyatakan dalam berat garam per liter air laut (g/L) ang dinyatakan pula sebagai *part per*

*thousand* (ppt) atau *practical salinity unit* (psu). Salinitas dinyatakan sebagai jumlah berat garam – garam anorganik terlarut dalam 1 kg air laut dalam kondisi semua karbonat telah dikonversi menjadi oksida, semua bromin dan iodin dirubah menjadi klorin dan semua zat organik teroksidasi sempurna.

Prosedur analisis :

1. Batang *conductivitymeter* dibasuh dengan aquades hingga bersih.
2. Pilih mode Conductivity >> Salinitas.
3. Standarkan dengan larutan standar 1413  $\mu\text{S}/\text{m}$  (optional).
4. Batang *conductivitymeter* dikeringkan dengan tisu hingga kering.
5. Sampel diambil dan dituangkan ke dalam beaker glass.
6. Batang anode dicelupkan ke dalam sampel hingga angka di layar berhenti.
7. Nilai salinitas dibandingkan dengan nilai klorida sesuai dengan kurva kalibrasi larutan standar KCl untuk mengetahui nilai klorida.

#### **6. Analisis Kadar Air (Berat Kering)**

Prinsip : Pemanasan pada suhu 105 °C di dalam oven sehingga air menguap dari sampel.

Prosedur Analisis :

1. Cawan kosong dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam.
2. Cawan kosong didinginkan di dalam desikator selama  $\pm 15$  menit.
3. Cawan yang sudah dingin ditimbang menggunakan neraca analitik.
4. Sampel dimasukkan ke dalam cawan secukupnya.
5. Cawan berisi sampah ditimbang menggunakan neraca analitik.

6. Cawan berisi sampah dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105 °C selama minimal 24 jam.
7. Setelah di oven, cawan berisi sampah didinginkan ke dalam desikator selama  $\pm 15$  menit.
8. Cawan berisi sampel setelah dingin ditimbang menggunakan neraca analitik.
9. Perhitungan kadar air dalam sampah menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat kering} = \frac{c-a}{b-a} \times 100 \%$$

$$\text{Kadar air} = 100 \% - \text{berat kering}$$

Keterangan :

a = berat cawan kosong

b = berat cawan + sampel (sebelum di oven)

c = berat cawan + sampel (sesudah di oven)

## 7. Analisis Volatile Solid

Prinsip :

Pemanasan sampel pada suhu 550 °C dengan tujuan untuk menguapkan bahan – bahan bersifat *volatile* tanpa merusak bahan – bahan lainnya.

Prosedur Analisis :

1. Sampel yang digunakan adalah sampel yang telah hilang kelembabannya.
2. Cawan kosong dipanaskan dalam furnace dengan suhu 550 °C selama 1 jam.
3. Cawan dipindahkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
4. Cawan didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
5. Setelah dingin, cawan kosong ditimbang menggunakan neraca analitik.
6. Sampel dimasukkan ke dalam cawan kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik.

7. Cawan berisi sampel dipanaskan dalam furnace dengan suhu 550 °C selama 1 jam.
8. Cawan dipindahkan ke dalam oven bersuhu 105 °C selama 15 menit.
9. Cawan dimasukkan ke dalam desikator untuk didinginkan selama 15 menit
10. Setelah dingin, cawan ditimbang menggunakan neraca analitik.
11. Perhitungan kadar *volatile solid* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% V_s = \left[ \frac{(b-a) - (c-a)}{(b-a)} \times 100 \% \right]$$

$$\% \text{ Abu} = \frac{c-a}{b-a} \times 100 \%$$

Keterangan :

a = berat cawan kosong setelah di furnace

b = berat cawan + sampel (sebelum difurnace)

c = berat cawan + sampel (setelah difurnace)

## LAMPIRAN B

### PERHITUNGAN PENDAHULUAN

Pada penelitian ini salinitas lindi dan banyaknya penambahan bioaktivator EM4 merupakan variabel penelitian. Lindi yang akan diresirkulasi, divariasikan berdasarkan konsentrasi salinitas lindi di lapangan dan konsentrasi salinitas yang diperkirakan. Sebelum dilakukan variasi untuk variabel penelitian, dilakukan analisis pendahuluan mengenai karakteristik lindi TPA Ngipik. Hasil analisis karakteristik lindi TPA Ngipik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Awal Lindi TPA Ngipik

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	7,37
Salinitas	ppt	6,07
BOD	mg/L	1.109,7
COD	mg/L	2.462

#### 1. Variasi Salinitas

Konsentrasi salinitas lindi yang digunakan pada penelitian ini sebesar 6 ppt dan 10 ppt. Konsentrasi 6 ppt merupakan konsentrasi lindi di TPA Ngipik, sedangkan konsentrasi 10 ppt merupakan konsentrasi lindi yang diperkirakan akan naik sebesar  $\pm 1,5$  kali lipat. Variasi terhadap salinitas lindi dilakukan dengan melakukan pemekatan terhadap lindi. Pemekatan berarti memperbesar konsentrasi salinitas. Pemekatan dilakukan dengan menambahkan NaCl ke dalam larutan. Besarnya pemekatan pada lindi dapat dicari menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Salinitas awal} &= 6 \text{ ppt} \\ \text{Salinitas dibutuhkan} &= 10 \text{ ppt} \\ \text{Besarnya pemekatan} &= \frac{10 \text{ ppt}}{6 \text{ ppt}} \\ &= 1,67 \approx 2 \text{ kali} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Salinitas ditambahkan} &= 10 \text{ ppt} - 6,07 \text{ ppt} \\ &= 3,93 \text{ ppt} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, didapatkan bahwa konsentrasi NaCl sebesar 1%. 10 gr/L NaCl dapat menaikkan konsentrasi salinitas hingga  $\pm 6,7$  ppt. Dikarenakan konsentrasi salinitas awal lindi sebesar 6,07 ppt, maka konsentrasi harus dinaikkan sebesar  $\pm 3,93$  ppt untuk mencapai 10 ppt.

$$\frac{6,7 \text{ ppt}}{3,93 \text{ ppt}} = \frac{10 \text{ gr}}{a}$$

$$\begin{aligned} 39,3 &= 6,7 \times a \\ a &= 5,86 \text{ gr/L} \end{aligned}$$

Maka dibutuhkan sekitar  $\pm 5,86$  gr NaCl untuk menaikkan sebesar 3,93 ppt dalam 1 liter sampel. Dikarenakan, lindi yang diresirkulasikan sebanyak 7,2 L untuk tiap reaktor, maka total NaCl yang dibutuhkan adalah sebesar,

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan NaCl (1 reaktor)} &= 7,2 \text{ L} \times 5,86 \text{ gr/L} \\ &= 42,192 \text{ gr} \\ \text{Kebutuhan NaCl (3 reaktor)} &= 3 \times 42,192 \text{ gr} \\ &= 126,576 \text{ gr} \approx 127 \text{ gr} \end{aligned}$$

Total NaCl yang dibutuhkan untuk variasi konsentrasi salinitas 10 ppt adalah sebanyak 127 gr.

## 2. Variasi Penambahan EM4

Pada penelitian ini, terdapat 2 (dua) macam variasi penambahan EM4 berdasarkan pada konsentrasi yang ditambahkan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui bahwa penambahan EM4 sebanyak 1 mL/L dan 3 mL/L memberikan hasil yang optimal pada proses degradasi sampah. Namun pada penelitian sebelumnya tidak dilakukan resirkulasi

lindi bersalinitas ke dalam tumpukan sampah yang telah diberi bioaktivator EM4.

Berdasarkan densitas sampah yang dimasukkan ke dalam reaktor, maka didapat volume sampah dalam reaktor melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$400 \text{ kg/m}^3 = \frac{40 \text{ kg}}{v}$$

$$v = 0,1 \text{ m}^3 = 100 \text{ dm}^3 = 100 \text{ L}$$

- Variasi penambahan 1 mL/L EM4

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan EM4 (1 reaktor)} &= 1 \text{ mL/L} \times 100 \text{ L} \\ &= 100 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan EM4 (3 reaktor)} &= 3 \times 100 \text{ mL} \\ &= 300 \text{ mL} \end{aligned}$$

- Variasi penambahan 3 mL/L

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan EM4 (1 reaktor)} &= 3 \text{ mL/L} \times 100 \text{ L} \\ &= 300 \text{ mL} \end{aligned}$$

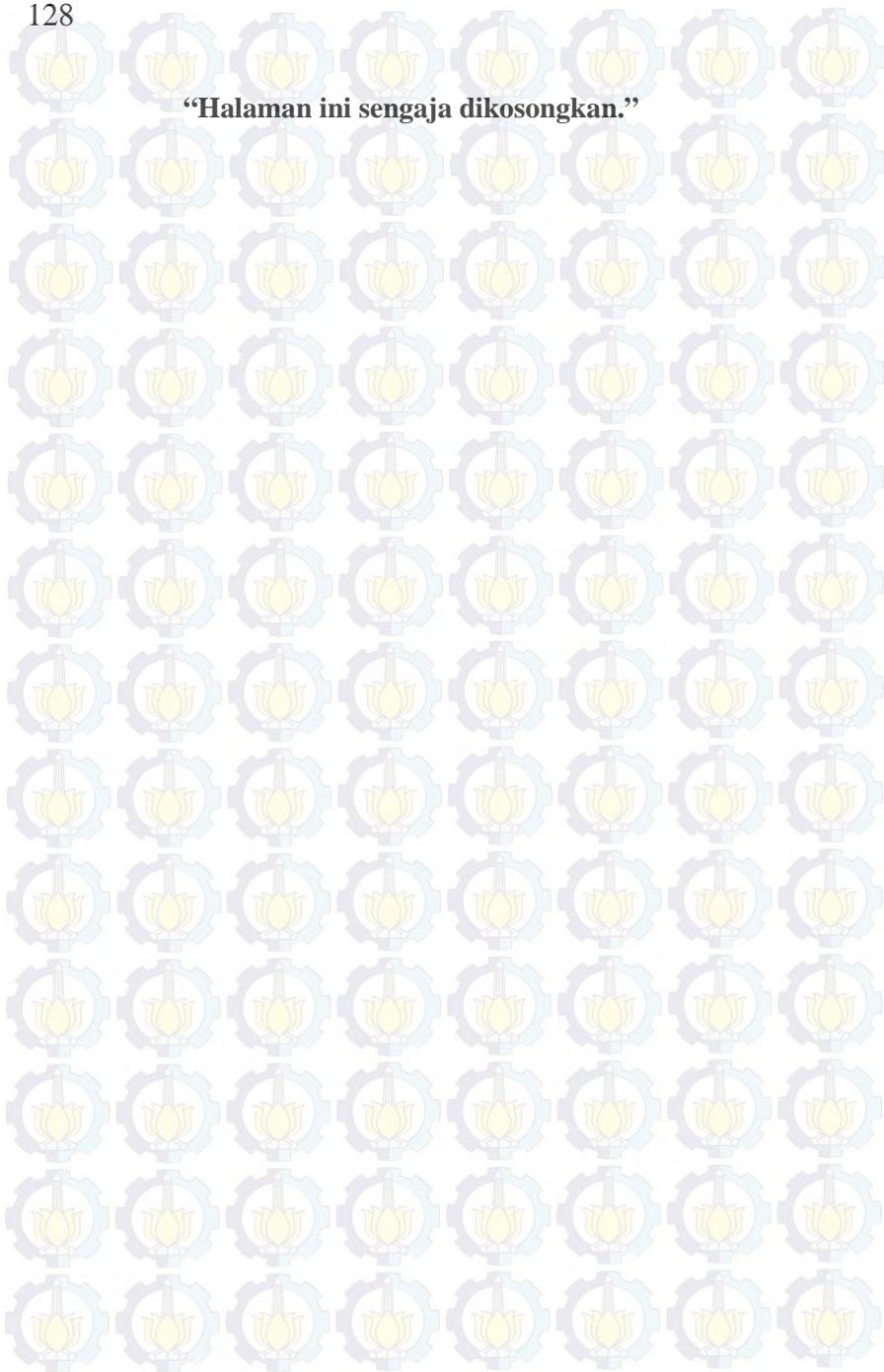
$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan EM4 (3 reaktor)} &= 3 \times 300 \text{ mL} \\ &= 900 \text{ mL} \end{aligned}$$

- Total kebutuhan EM4

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan total} &= \text{Variasi 1 mL/L} + \text{variasi 3 mL/L} \\ &= 300 \text{ mL} + 900 \text{ mL} \\ &= 1200 \text{ mL} = 1,2 \text{ L} \end{aligned}$$

Variasi penambahan 1 mL/L, membutuhkan EM4 sebanyak 300 ml untuk 3 buah reaktor, sedangkan untuk variasi penambahan 3 mL/L, maka dibutuhkan EM4 sebanyak 900 ml untuk 3 buah reaktor. Total EM4 yang dibutuhkan adalah 1,2 L.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan.”**



LAMPIRAN C  
DOKUMENTASI HASIL PENELITIAN



Gambar 1. Penggunaan magnetik stirrer



Gambar 2. Analisis COD



Gambar 3. Bak penampung *effluent* lindi



Gambar 4. Bak penampung *influent* lindi



Gambar 5. Titik sampling sampah



Gambar 6. Reaktor Sampah

## LAMPIRAN D HASIL ANALISIS LABORATORIUM

### 1. Hasil Analisis pH Lindi

No	Tanggal	pH Lindi Reaktor ke -								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	-	-	-	7,72	7,62	8,01	8,55	8,1	8,63
2	6/3	-	-	-	7,29	7,11	6,44	7,5	7,53	7,43
3	9/3	-	-	-	7,54	7,34	6,19	6,92	7,6	7,05
4	12/3	-	-	-	7,39	5,97	7,03	6,92	7,49	6,66
5	15/3	-	-	-	7,72	7,8	6,16	7,7	7,78	7,51
6	18/3	-	-	-	7,65	7,54	6,39	7,44	7,5	7,52
7	21/3	-	-	-	7,58	7,65	6,82	7,2	7,43	7,61
8	24/3	-	-	-	7,34	7,89	7,34	7,33	7,5	8
9	27/3	-	-	-	8,69	8,7	7,88	8,38	8,65	8,16
10	30/3	-	-	-	8,17	7,74	7,52	7,6	8,42	7,26
11	2/4	-	-	-	7,67	8,54	7,47	7,47	7,52	7,4
12	5/4	-	-	-	7,5	8,37	7,37	7,53	7,58	8,35
13	8/4	-	-	-	7,58	8,41	7,45	7,37	7,47	7,67

No	Tanggal	pH Lindi Reaktor ke -								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
14	11/4	-	-	-	7,72	8,57	7,49	7,55	7,48	7,85
15	14/4	-	-	-	7,52	8,25	7,24	7,43	7,58	7,74

## 2. Hasil Analisis pH Sampah

No	Tanggal	pH Lindi Reaktor ke -								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	7,98	8,37	8,52	7,82	8,11	7,95	8,22	7,94	7,97
2	6/3	7,74	8,01	8,01	7,92	7,99	7,87	7,95	7,65	7,84
3	9/3	8,55	7,77	7,93	7,93	8,02	7,71	7,64	7,85	7,64
4	12/3	8,2	8,05	7,8	8,29	7,83	8,08	8,26	8,27	8,32
5	15/3	7,58	7,17	7,11	6,69	7,63	7,84	7,2	7,09	7,7
6	18/3	7,91	7,51	7,42	7,72	7,55	7,44	7,63	7,73	7,76
7	21/3	7,67	7,88	7,86	8,18	8,16	8,05	7,85	7,97	7,8
8	24/3	7,88	7,94	7,97	8,09	8,29	7,86	7,69	7,88	7,91
9	27/3	7,96	7,86	7,91	8,27	7,99	8,01	7,92	8,06	8,17
10	30/3	8,11	7,78	8,19	8,41	8,23	7,54	8,15	8,17	8,08

No	Tanggal	pH Lindi Reaktor ke -								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
11	2/4	8,21	8,07	8,22	8,31	8,14	7,86	8,01	8,11	8,22
12	5/4	8,1	8,37	8,16	8,18	8,36	8,21	8,24	8,23	8,45
13	8/4	8,07	9,06	8,25	8,82	8,54	8,41	8,3	8,4	8,63
14	11/4	8,29	8,28	8,3	8,33	8,47	8,25	7,98	8,47	8,08
15	14/4	8,4	8,43	8,27	8,41	8,28	8,02	8,11	8,28	8,35

### 3. Hasil Analisis Suhu Sampah

No	Tanggal	Suhu sampah reaktor ke - (°C)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	32,5	32,0	31,0	31,5	33,0	32,0	33,0	32,5	32,0
2	6/3	34,0	34,0	33,5	32,0	35,0	33,5	35,5	34,5	34,5
3	9/3	36,5	34,5	33,0	35,5	35,5	34,0	35,5	33,0	34,5
4	12/3	35,5	35,0	35,0	35,0	36,5	35,5	36,5	34,5	36,0
5	15/3	36,0	35,0	35,5	36,5	38,0	35,0	37,5	35,0	35,5
6	18/3	37,0	36,0	37,0	36,5	38,0	35,5	38,0	38,0	37,5
7	21/3	36,0	37,5	36,0	34,5	37,5	37,5	37,0	36,5	37,0

No	Tanggal	Suhu sampah reaktor ke - (°C)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
8	24/3	36,0	36,0	37,5	35,0	36,5	37,0	36,5	35,0	36,5
9	27/3	35,5	36,0	34,0	35,5	35,0	36,5	35,0	35,5	36,5
10	30/3	35,5	35,0	34,0	35,0	35,0	36,0	34,0	34,0	35,0
11	2/4	35,0	35,0	34,5	34,5	35,5	35,0	34,0	34,0	34,5
12	5/4	34,5	34,0	33,0	34,0	34,0	35,5	34,5	33,0	33,0
13	8/4	34,5	34,5	33,5	33,0	34,0	33,5	33,0	33,5	33,5
14	11/4	34,0	34,0	33,0	33,5	33,5	33,0	33,0	33,5	33,0
15	14/4	33,5	34,0	33,0	33,0	34,0	33,0	33,5	32,5	33,5

#### 4. Hasil Analisis Salinitas Lindi

No	Tanggal	Salinitas Reaktor ke – (ppt)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	-	-	-	7,83	7,62	7,16	7,43	9,99	10,10
2	6/3	-	-	-	7,86	5,93	6,34	7,90	8,32	8,10
3	9/3	-	-	-	7,42	6,05	6,83	6,71	6,55	8,71
4	12/3	-	-	-	6,71	7,08	6,78	7,42	8,20	8,34

No	Tanggal	Salinitas Reaktor ke – (ppt)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
5	15/3	-	-	-	6,54	7,32	7,44	8,06	8,57	8,55
6	18/3	-	-	-	6,74	6,67	7,59	7,50	7,97	8,53
7	21/3	-	-	-	6,89	7,03	7,53	8,26	8,05	8,53
8	24/3	-	-	-	7,25	8,37	7,61	8,11	7,99	9,55
9	27/3	-	-	-	7,10	8,45	8,22	8,07	8,81	11,50
10	30/3	-	-	-	6,89	6,82	8,09	7,62	7,36	8,63
11	2/4	-	-	-	7,67	6,66	6,69	7,47	8,03	9,14
12	5/4	-	-	-	8,73	7,89	8,42	8,14	8,09	9,33
13	8/4	-	-	-	6,51	6,64	7,62	8,23	7,62	9,09
14	11/4	-	-	-	8,84	7,47	7,85	8,60	7,39	8,68
15	14/4	-	-	-	7,22	7,93	8,01	8,03	8,36	8,40

### 5. Hasil Analisis Salinitas Sampah

No	Tanggal	Salinitas Reaktor ke – (ppt)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	0,33	0,43	0,37	0,40	0,36	0,44	0,26	0,63	0,29

No	Tanggal	Salinitas Reaktor ke – (ppt)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
2	6/3	0,33	0,43	0,37	0,40	0,36	0,44	0,26	0,63	0,29
3	9/3	0,37	0,41	0,45	0,64	0,34	0,28	0,59	0,63	0,52
4	12/3	0,69	0,36	0,32	0,51	0,38	0,37	0,54	0,45	0,39
5	15/3	0,27	0,42	0,40	0,40	0,39	0,66	0,84	0,67	0,38
6	18/3	0,29	0,28	0,26	0,37	0,31	0,40	0,43	0,42	0,38
7	21/3	0,10	0,26	0,34	0,46	0,31	0,42	0,48	0,40	0,36
8	24/3	0,21	0,37	0,37	0,42	0,34	0,47	0,41	0,49	0,41
9	27/3	0,18	0,33	0,22	0,30	0,33	0,35	0,37	0,44	0,44
10	30/3	0,12	0,35	0,35	0,36	0,25	0,39	0,58	0,39	0,38
11	2/4	0,20	0,31	0,29	0,29	0,28	0,44	0,47	0,32	0,29
12	5/4	0,19	0,27	0,32	0,33	0,33	0,58	0,43	0,38	0,31
13	8/4	0,23	0,30	0,41	0,38	0,37	0,49	0,49	0,27	0,47
14	11/4	0,21	0,33	0,36	0,30	0,31	0,41	0,39	0,34	0,36
15	14/4	0,28	0,34	0,33	0,38	0,41	0,21	0,46	0,46	0,46

## 6. Hasil Analisis Volume Lindi

No	Tanggal	Volume Lindi Reaktor ke – (mL)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	-	-	-	7200	7200	7200	7200	7200	7200
2	6/3	-	-	-	4225	3000	3296	3253	1775	3887
3	9/3	-	-	-	5281	4098	4648	4986	5155	4225
4	12/3	-	-	-	4225	3380	4267	4648	5197	4141
5	15/3	-	-	-	4056	4310	4732	4267	3887	2451
6	18/3	-	-	-	3972	3296	4774	4310	3655	3169
7	21/3	-	-	-	3613	2197	3697	3444	2852	1521
8	24/3	-	-	-	3042	2113	3634	3676	2535	930
9	27/3	-	-	-	2607	1105	2891	3259	1785	907
10	30/3	-	-	-	2662	718	3042	2915	1056	676
11	2/4	-	-	-	2662	465	2831	2535	1648	951
12	5/4	-	-	-	1700	135	1644	1417	878	510
13	8/4	-	-	-	2113	70	2113	2091	845	120
14	11/4	-	-	-	2155	80	2366	2070	1056	90
15	14/4	-	-	-	2641	100	2260	1817	1183	0

## 7. Hasil Analisis Volume Gas

No	Tanggal	Produksi Gas Reaktor ke – (mL)								
		R7	R9	R1	R3	R6	R5	R8	R4	R2
1	3/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	6/3	23	13	20	33	0	33	7	0	17
3	9/3	23	13	20	33	0	33	10	0	20
4	12/3	7	7	20	33	20	33	10	0	20
5	15/3	17	7	20	33	20	33	10	33	20
6	18/3	17	15	10	37	22	7	7	33	32
7	21/3	8	5	10	37	8	8	7	17	32
8	24/3	8	5	10	37	7	8	10	17	32
9	27/3	8	5	18	37	7	8	13	17	32
10	30/3	8	5	18	37	7	8	3	17	32
11	2/4	3	10	18	10	27	5	3	10	32
12	5/4	8	10	18	10	27	10	18	13	32
13	8/4	8	10	18	10	10	10	18	13	32
14	11/4	8	10	18	10	10	10	18	10	32
15	14/4	10	10	18	10	10	5	10	10	23

## 8. Hasil Analisis Konsentrasi COD Lindi

No	Tanggal	Konsentrasi COD Reaktor ke – (mg/L)								
		R7	R9	R1	R3	R6	R5	R8	R4	R2
1	3/3	-	-	-	17920	15360	6400	3840	1920	4480
2	6/3	-	-	-	26880	18560	22400	28800	28160	18560
3	9/3	-	-	-	13440	27520	27520	27520	18560	26240
4	12/3	-	-	-	24320	26880	16000	26880	21120	17920
5	15/3	-	-	-	10368	13440	18432	16000	23040	22400
6	18/3	-	-	-	3840	19200	23520	22272	18560	17664
7	21/3	-	-	-	3456	9984	24960	8448	3072	18432
8	24/3	-	-	-	2304	5376	15360	4032	3072	8640
9	27/3	-	-	-	9216	6720	38400	7840	10640	14000
10	30/3	-	-	-	6912	5184	36096	6336	3360	7280
11	2/4	-	-	-	5600	4800	27520	8400	5600	16240
12	5/4	-	-	-	12000	9120	29440	9120	11040	12960
13	8/4	-	-	-	9120	3840	24320	9120	5760	6240
14	11/4	-	-	-	7680	4000	18560	9600	4320	4320
15	14/4	-	-	-	10000	4800	7600	9600	8800	7200

## 9. Hasil Analisis Konsentrasi COD Sampah

No	Tanggal	Konsentrasi COD Reaktor ke – (mg/L)								
		R7	R9	R1	R3	R6	R5	R8	R4	R2
1	3/3	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4
2	6/3	2131,2	532,8	6393,6	1065,6	2131,2	3196,8	1598,4	8524,8	2664,0
3	9/3	2664,0	4795,2	1598,4	3729,6	3196,8	2664,0	2664,0	2131,2	2664,0
4	12/3	4795,2	7459,2	2131,2	4262,4	4262,4	1598,4	1598,4	1065,6	4795,2
5	15/3	7459,2	7992,0	2664,0	8524,8	9590,4	6926,4	6926,4	5328,0	3729,6
6	18/3	8436,0	6216,0	3552,0	2664,0	4884,0	5328,0	4884,0	6216,0	2220,0
7	21/3	8436,0	3729,6	1065,6	9057,6	5328,0	7992,0	4795,2	6926,4	6393,6
8	24/3	5328,0	4795,2	3729,6	8524,8	6393,6	8524,8	7459,2	9590,4	5860,8
9	27/3	8524,8	9590,4	5328,0	6393,6	5328,0	6393,6	6393,6	6393,6	7459,2
10	30/3	9057,6	6393,6	6926,4	6926,4	2664,0	6926,4	6926,4	7459,2	4262,4
11	2/4	6393,6	8524,8	7992,0	7459,2	7459,2	6393,6	7992,0	7459,2	7459,2
12	5/4	8524,8	5860,8	6926,4	6393,6	5860,8	7992,0	7459,2	5860,8	8524,8
13	8/4	7992,0	7992,0	6393,6	5860,8	5328,0	7459,2	6393,6	5328,0	5860,8
14	11/4	7459,2	5328,0	3196,8	4262,4	4262,4	5328,0	4262,4	3196,8	4795,2
15	14/4	4795,2	2131,2	2131,2	2131,2	4262,4	2664,0	3196,8	1598,4	4795,2

## 10. Hasil Analisis Konsentrasi pV Lindi

No	Tanggal	Konsentrasi pV Reaktor ke – (mg/L)								
		R7	R9	R1	R3	R6	R5	R8	R4	R2
1	3/3	-	-	-	1533,8	1699,0	1500,9	1812,3	1392,3	1581,0
2	6/3	-	-	-	7738,9	7474,7	6644,3	6682,1	5436,2	6606,6
3	9/3	-	-	-	9513,6	10193,0	16459,1	15100,4	12835,8	15251,3
4	12/3	-	-	-	6682,1	7701,1	8323,5	6040,5	6266,9	7021,8
5	15/3	-	-	-	5096,5	5096,9	9060,3	5889,5	6040,5	8154,1
6	18/3	-	-	-	6682,1	7701,1	8323,5	6040,5	6266,9	7021,8
7	21/3	-	-	-	5096,5	5096,9	9060,3	5889,5	6040,5	8154,1
8	24/3	-	-	-	6417,9	9588,3	15061,0	4898,3	7625,7	6455,2
9	27/3	-	-	-	5379,6	5945,7	5889,5	4473,7	5889,1	6738,3
10	30/3	-	-	-	4926,6	4813,4	6757,6	4756,8	4841,7	4813,4
11	2/4	-	-	-	5294,6	2973,2	6115,9	5124,8	5124,8	4587,0
12	5/4	-	-	-	4483,0	4465,2	5492,4	4766,0	3940,4	5001,9
13	8/4	-	-	-	5836,7	5621,5	6143,9	5352,6	4519,0	5298,8
14	11/4	-	-	-	6482,1	4079,5	6966,1	7315,7	3900,4	5675,3
15	14/4	-	-	-	5648,2	-	7261,9	4863,9	4124,4	3855,4

## 11. Hasil Analisis BOD Lindi

No	Reaktor ke-	Konsentrasi BOD Hari ke- (mg/L)						
		3/3	12/3	21/3	30/3	8/4	21/4	29/4
1	R1	-	-	-	-	-	-	-
2	R2	-	-	-	-	-	-	-
3	R3	-	-	-	-	-	-	-
4	R4	2080,83	1664,67	1664,33	1331,47	774,22	369,89	130,56
5	R5	1665,00	1665,00	1997,20	1331,47	369,89	-	-
6	R6	2775,00	3885,00	2220,00	1664,67	1248,50	1110,00	422,52
7	R7	832,33	416,17	332,87	332,87	354,13	396,33	-
8	R8	832,33	832,33	739,78	665,73	605,15	666,73	-
9	R9	2775,00	1110,00	1665,00	1331,47	708,27	832,33	182,78

## LAMPIRAN A

### PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM

#### 1. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Prinsip : *Closed Reflux*

Prosedur analisis :

1. Sampel lindi disiapkan sebanyak 10 mL.
2. Sampel lindi diencerkan sesuai kebutuhan.
3. 2 buah tabung COD disiapkan, kemudian dimasukkan sampel lindi yang telah diencerkan sebanyak 2,5 mL dan aquades sebanyak 2,5 mL sebagai blanko.
4. Larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) ditambahkan sebanyak 2 mL.
5. Larutan campuran asam ditambahkan (*sulfuric acid*) sebanyak 3,5 mL.
6. Alat pemanas dinyalakan dan diletakkan erlenmeyer COD di atas alat pemanas selama 2 jam.
7. Setelah 2 jam, alat pemanas dimatikan dan erlenmeyer dibiarkan hingga dingin.
8. Kondensor dibilas dengan aquades.
9. Indikator ferroin ditambahkan sebanyak 1 tetes.
10. Kedua erlenmeyer dititrasi menggunakan larutan standar FAS 0,05 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit.
11. Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol sampel}}$$

Keterangan :

A : mL FAS titrasi blanko

B : mL FAS titrasi sampel

N : normalitas larutan FAS

## 2. Analisis Permanganat Value (pV)

Prinsip : Dilakukan beberapa kali reaksi oksidasi pada kondisi asam dengan persamaan kimia sebagai berikut.



Nilai pV akan digunakan sebagai acuan penentuan pengenceran pada analisis BOD.

Prosedur analisis :

1. Sampel lindi disiapkan sebanyak 10 mL.
2. Sampel lindi diencerkan sesuai kebutuhan.
3. Ditambahkan 2,5 mL asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 4N bebas organik.
4. Ditambahkan beberapa tetes  $\text{KMnO}_4$  0,01 N hingga terbentuk warna merah muda dan tidak hilang selama  $\pm 10$  detik.
5. Dipanaskan hingga mendidih.
6. Ditambahkan 10 mL larutan  $\text{KMnO}_4$  0,01 N hingga berwarna ungu.
7. Dipanaskan kembali selama  $\pm 10$  menit. Jika warna larutan kembali bening ditambahkan kembali  $\text{KMnO}_4$  0,01 N.
8. Didinginkan selama  $\pm 5$  menit
9. Ditambahkan 1 mL asam oksalat 0,1 N dan ditunggu hingga larutan berwarna bening
10. Nilai pV dihitung menggunakan rumus :

$$\frac{1000}{\text{ml. sampel}} \times [(m+a) \times N] - (n \times 0,1) \times 31,6 \times P$$

Keterangan :

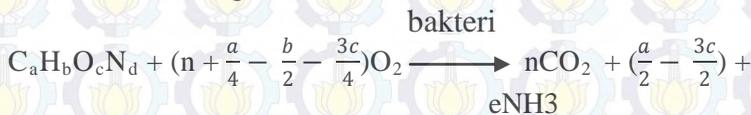
m = volume larutan  $\text{KMnO}_4$  yang ditambahkan saat dipanaskan

a = volume  $\text{KMnO}_4$  yang ditambahkan saat titrasi

- N = normalitas  $\text{KMnO}_4$   
 n = mL asam oksalat ditambahkan  
 P = faktor pengenceran

### 3. Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Prinsip : Zat organik didegradasi oleh bakteri aerobik. zat organik dan oksigen diubah menjadi karbon dioksida, air dan amoniak dengan persamaan kimia sebagai berikut .



Setelah diinkubasi pada suhu  $20^\circ\text{C}$  selama 5 hari, diharapkan 75 % zat organik teroksidasi. Zat organik yang ada diukur melalui jumlah oksigen ( $\text{O}_2$ ) yang diperlukan bakteri untuk mengoksidasi zat organik. Oksigen pada  $t = 0$  berada pada konsentrasi jenuh, sehingga saat  $t = 5$ ,  $\text{O}_2 \geq 2 \text{ mg/L}$ . Jumlah zat organik yang dioksidasi setara dengan oksigen yang diperlukan dalam proses oksidasi.

Prosedur analisis :

1. Tingkat pengenceran pV ditentukan dengan persamaan :

$$P = \frac{\text{Nilai pV } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)}{5}$$

2. 1 buah labu ukur berukuran 500 mL disiapkan.
3. Sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran dituangkan ke dalam labu ukur kemudian ditambahkan air pengencer hingga tanda batas.
4. 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL disiapkan.

5. Sampel yang telah diencerkan dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winler 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati – hati.
6. Air pengencer dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winkler 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati – hati.
7. Larutan dalam botol winkler 300 mL dimasukkan ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari. Setelah 5 hari diinkubasi, segera dilakukan analisis DO.
8. Untuk larutan dalam botol winkler 150 mL segera dilakukan analisis DO
9. Analisis DO dilakukan dengan prosedur :
  - Larutan mangan sulfat ditambahkan sebanyak 1 mL.
  - Larutan pereaksi oksigen ditambahkan sebanyak 1 mL.
  - Botol ditutup dengan hati – hati agar tidak ada gelembung udaranya, kemudian dibolak-balikkan.
  - Gumpalan yang terbentuk dibiarkan mengendap selama 5 – 10 menit.
  - Larutan asam sulfat pekat ditambahkan sebanyak 1 mL kemudian botol ditutup dan dibolak – balikkan.
  - 100 mL larutan dituangkan ke dalam erlenmeyer 250 mL.
  - Indikator amillum ditambahkan sebanyak 3 – 4 tetes.
  - Larutan dititrasi dengan larutan Na-tiosulfat 0,0125 N hingga berubah menjadi jernih
  - Perhitungan DO dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$DO \text{ (mg/L)} = \frac{a \times N \times 8000}{100 \text{ mL}}$$

Keterangan : a : volume titran (mL)  
 N : normalitas larutan Na-tiosulfat (0,0125 N)  
 100 mL: voume sampel yang digunakan dalam titrasi

10. Perhitungan nilai BOD dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Keterangan :

$X_0$  : DO sampel pada  $t = 0$

$X_5$  : DO sampel pada  $t = 5$

$B_0$  : DO blanko pada  $t = 0$

$B_5$  : DO blanko pada  $t = 5$

P : derajat pengenceran

#### 4. Analisis pH

Prosedur analisis :

1. pH meter distandarisasi dengan menggunakan larutan buffer pH = 4, 7 dan 10.
2. Sampel diambil dan diletakkan ke dalam beaker glass.
3. Batang silinder pH meter dicelupkan ke dalam sampel.
4. pH meter akan menunjukkan pH larutan secara digital.

#### 5. Analisis Salinitas

Salinitas merupakan jumlah mineral yang terlarut dalam air yang biasanya dinyatakan dalam berat garam per liter air laut (g/L) ang dinyatakan pula sebagai *part per*

*thousand* (ppt) atau *practical salinity unit* (psu). Salinitas dinyatakan sebagai jumlah berat garam – garam anorganik terlarut dalam 1 kg air laut dalam kondisi semua karbonat telah dikonversi menjadi oksida, semua bromin dan iodin dirubah menjadi klorin dan semua zat organik teroksidasi sempurna.

Prosedur analisis :

1. Batang *conductivitymeter* dibasuh dengan aquades hingga bersih.
2. Pilih mode Conductivity >> Salinitas.
3. Standarkan dengan larutan standar 1413  $\mu\text{S}/\text{m}$  (optional).
4. Batang *conductivitymeter* dikeringkan dengan tisu hingga kering.
5. Sampel diambil dan dituangkan ke dalam beaker glass.
6. Batang anode dicelupkan ke dalam sampel hingga angka di layar berhenti.
7. Nilai salinitas dibandingkan dengan nilai klorida sesuai dengan kurva kalibrasi larutan standar KCl untuk mengetahui nilai klorida.

#### **6. Analisis Kadar Air (Berat Kering)**

Prinsip : Pemanasan pada suhu 105 °C di dalam oven sehingga air menguap dari sampel.

Prosedur Analisis :

1. Cawan kosong dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam.
2. Cawan kosong didinginkan di dalam desikator selama  $\pm 15$  menit.
3. Cawan yang sudah dingin ditimbang menggunakan neraca analitik.
4. Sampel dimasukkan ke dalam cawan secukupnya.
5. Cawan berisi sampah ditimbang menggunakan neraca analitik.

6. Cawan berisi sampah dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105 °C selama minimal 24 jam.
7. Setelah di oven, cawan berisi sampah didinginkan ke dalam desikator selama  $\pm 15$  menit.
8. Cawan berisi sampel setelah dingin ditimbang menggunakan neraca analitik.
9. Perhitungan kadar air dalam sampah menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat kering} = \frac{c-a}{b-a} \times 100 \%$$

$$\text{Kadar air} = 100 \% - \text{berat kering}$$

Keterangan :

a = berat cawan kosong

b = berat cawan + sampel (sebelum di oven)

c = berat cawan + sampel (sesudah di oven)

## 7. Analisis Volatile Solid

Prinsip :

Pemanasan sampel pada suhu 550 °C dengan tujuan untuk menguapkan bahan – bahan bersifat *volatile* tanpa merusak bahan – bahan lainnya.

Prosedur Analisis :

1. Sampel yang digunakan adalah sampel yang telah hilang kelembabannya.
2. Cawan kosong dipanaskan dalam furnace dengan suhu 550 °C selama 1 jam.
3. Cawan dipindahkan ke dalam oven dengan suhu 105°C selama 15 menit.
4. Cawan didinginkan dalam desikator selama 15 menit.
5. Setelah dingin, cawan kosong ditimbang menggunakan neraca analitik.
6. Sampel dimasukkan ke dalam cawan kemudian ditimbang menggunakan neraca analitik.

7. Cawan berisi sampel dipanaskan dalam furnace dengan suhu 550 °C selama 1 jam.
8. Cawan dipindahkan ke dalam oven bersuhu 105 °C selama 15 menit.
9. Cawan dimasukkan ke dalam desikator untuk didinginkan selama 15 menit
10. Setelah dingin, cawan ditimbang menggunakan neraca analitik.
11. Perhitungan kadar *volatile solid* menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% V_s = \left[ \frac{(b-a) - (c-a)}{(b-a)} \times 100 \% \right]$$

$$\% \text{ Abu} = \frac{c-a}{b-a} \times 100 \%$$

Keterangan :

a = berat cawan kosong setelah di furnace

b = berat cawan + sampel (sebelum difurnace)

c = berat cawan + sampel (setelah difurnace)

## LAMPIRAN B

### PERHITUNGAN PENDAHULUAN

Pada penelitian ini salinitas lindi dan banyaknya penambahan bioaktivator EM4 merupakan variabel penelitian. Lindi yang akan diresirkulasi, divariasikan berdasarkan konsentrasi salinitas lindi di lapangan dan konsentrasi salinitas yang diperkirakan. Sebelum dilakukan variasi untuk variabel penelitian, dilakukan analisis pendahuluan mengenai karakteristik lindi TPA Ngipik. Hasil analisis karakteristik lindi TPA Ngipik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Awal Lindi TPA Ngipik

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	7,37
Salinitas	ppt	6,07
BOD	mg/L	1.109,7
COD	mg/L	2.462

#### 1. Variasi Salinitas

Konsentrasi salinitas lindi yang digunakan pada penelitian ini sebesar 6 ppt dan 10 ppt. Konsentrasi 6 ppt merupakan konsentrasi lindi di TPA Ngipik, sedangkan konsentrasi 10 ppt merupakan konsentrasi lindi yang diperkirakan akan naik sebesar  $\pm 1,5$  kali lipat. Variasi terhadap salinitas lindi dilakukan dengan melakukan pemekatan terhadap lindi. Pemekatan berarti memperbesar konsentrasi salinitas. Pemekatan dilakukan dengan menambahkan NaCl ke dalam larutan. Besarnya pemekatan pada lindi dapat dicari menggunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Salinitas awal} &= 6 \text{ ppt} \\ \text{Salinitas dibutuhkan} &= 10 \text{ ppt} \\ \text{Besarnya pemekatan} &= \frac{10 \text{ ppt}}{6 \text{ ppt}} \\ &= 1,67 \approx 2 \text{ kali} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Salinitas ditambahkan} &= 10 \text{ ppt} - 6,07 \text{ ppt} \\ &= 3,93 \text{ ppt} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, didapatkan bahwa konsentrasi NaCl sebesar 1%. 10 gr/L NaCl dapat menaikkan konsentrasi salinitas hingga  $\pm 6,7$  ppt. Dikarenakan konsentrasi salinitas awal lindi sebesar 6,07 ppt, maka konsentrasi harus dinaikkan sebesar  $\pm 3,93$  ppt untuk mencapai 10 ppt.

$$\frac{6,7 \text{ ppt}}{3,93 \text{ ppt}} = \frac{10 \text{ gr}}{a}$$

$$\begin{aligned} 39,3 &= 6,7 \times a \\ a &= 5,86 \text{ gr/L} \end{aligned}$$

Maka dibutuhkan sekitar  $\pm 5,86$  gr NaCl untuk menaikkan sebesar 3,93 ppt dalam 1 liter sampel. Dikarenakan, lindi yang diresirkulasikan sebanyak 7,2 L untuk tiap reaktor, maka total NaCl yang dibutuhkan adalah sebesar,

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan NaCl (1 reaktor)} &= 7,2 \text{ L} \times 5,86 \text{ gr/L} \\ &= 42,192 \text{ gr} \\ \text{Kebutuhan NaCl (3 reaktor)} &= 3 \times 42,192 \text{ gr} \\ &= 126,576 \text{ gr} \approx 127 \text{ gr} \end{aligned}$$

Total NaCl yang dibutuhkan untuk variasi konsentrasi salinitas 10 ppt adalah sebanyak 127 gr.

## 2. Variasi Penambahan EM4

Pada penelitian ini, terdapat 2 (dua) macam variasi penambahan EM4 berdasarkan pada konsentrasi yang ditambahkan. Berdasarkan penelitian sebelumnya, diketahui bahwa penambahan EM4 sebanyak 1 mL/L dan 3 mL/L memberikan hasil yang optimal pada proses degradasi sampah. Namun pada penelitian sebelumnya tidak dilakukan resirkulasi

lindi bersalinitas ke dalam tumpukan sampah yang telah diberi bioaktivator EM4.

Berdasarkan densitas sampah yang dimasukkan ke dalam reaktor, maka didapat volume sampah dalam reaktor melalui perhitungan sebagai berikut.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$400 \text{ kg/m}^3 = \frac{40 \text{ kg}}{v}$$

$$v = 0,1 \text{ m}^3 = 100 \text{ dm}^3 = 100 \text{ L}$$

- Variasi penambahan 1 mL/L EM4

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan EM4 (1 reaktor)} &= 1 \text{ mL/L} \times 100 \text{ L} \\ &= 100 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan EM4 (3 reaktor)} &= 3 \times 100 \text{ mL} \\ &= 300 \text{ mL} \end{aligned}$$

- Variasi penambahan 3 mL/L

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan EM4 (1 reaktor)} &= 3 \text{ mL/L} \times 100 \text{ L} \\ &= 300 \text{ mL} \end{aligned}$$

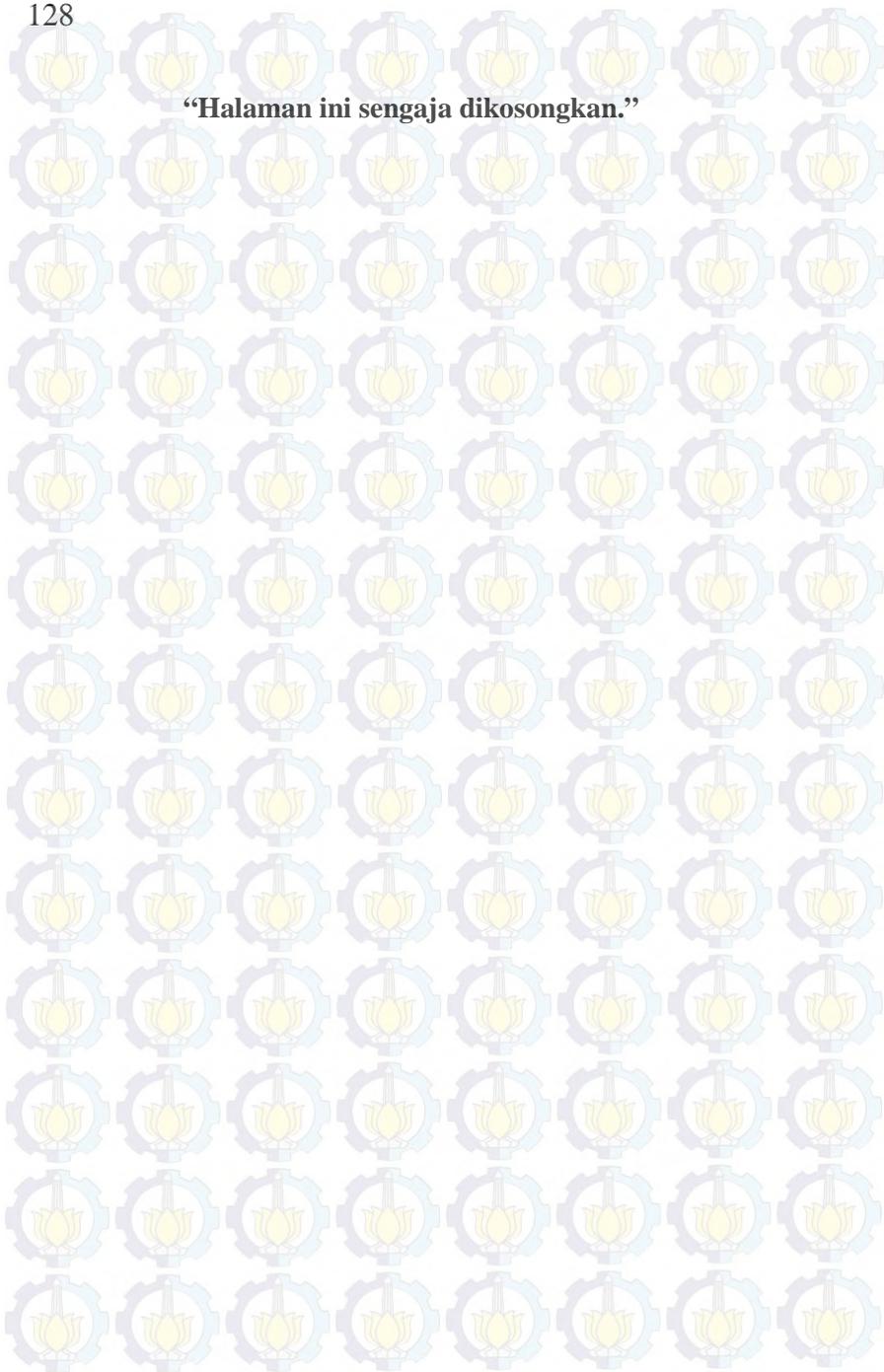
$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan EM4 (3 reaktor)} &= 3 \times 300 \text{ mL} \\ &= 900 \text{ mL} \end{aligned}$$

- Total kebutuhan EM4

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan total} &= \text{Variasi 1 mL/L} + \text{variasi 3 mL/L} \\ &= 300 \text{ mL} + 900 \text{ mL} \\ &= 1200 \text{ mL} = 1,2 \text{ L} \end{aligned}$$

Variasi penambahan 1 mL/L, membutuhkan EM4 sebanyak 300 ml untuk 3 buah reaktor, sedangkan untuk variasi penambahan 3 mL/L, maka dibutuhkan EM4 sebanyak 900 ml untuk 3 buah reaktor. Total EM4 yang dibutuhkan adalah 1,2 L.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan.”**



LAMPIRAN C  
DOKUMENTASI HASIL PENELITIAN



Gambar 1. Penggunaan magnetik stirrer



Gambar 2. Analisis COD



Gambar 3. Bak penampung *effluent* lindi



Gambar 4. Bak penampung *influent* lindi



Gambar 5. Titik sampling sampah



Gambar 6. Reaktor Sampah

**LAMPIRAN D**  
**HASIL ANALISIS LABORATORIUM**

1. Hasil Analisis pH Lindi

No	Tanggal	pH Lindi Reaktor ke -								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	-	-	-	7,72	7,62	8,01	8,55	8,1	8,63
2	6/3	-	-	-	7,29	7,11	6,44	7,5	7,53	7,43
3	9/3	-	-	-	7,54	7,34	6,19	6,92	7,6	7,05
4	12/3	-	-	-	7,39	5,97	7,03	6,92	7,49	6,66
5	15/3	-	-	-	7,72	7,8	6,16	7,7	7,78	7,51
6	18/3	-	-	-	7,65	7,54	6,39	7,44	7,5	7,52
7	21/3	-	-	-	7,58	7,65	6,82	7,2	7,43	7,61
8	24/3	-	-	-	7,34	7,89	7,34	7,33	7,5	8
9	27/3	-	-	-	8,69	8,7	7,88	8,38	8,65	8,16
10	30/3	-	-	-	8,17	7,74	7,52	7,6	8,42	7,26
11	2/4	-	-	-	7,67	8,54	7,47	7,47	7,52	7,4
12	5/4	-	-	-	7,5	8,37	7,37	7,53	7,58	8,35
13	8/4	-	-	-	7,58	8,41	7,45	7,37	7,47	7,67

No	Tanggal	pH Lindi Reaktor ke -								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
14	11/4	-	-	-	7,72	8,57	7,49	7,55	7,48	7,85
15	14/4	-	-	-	7,52	8,25	7,24	7,43	7,58	7,74

## 2. Hasil Analisis pH Sampah

No	Tanggal	pH Lindi Reaktor ke -								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	7,98	8,37	8,52	7,82	8,11	7,95	8,22	7,94	7,97
2	6/3	7,74	8,01	8,01	7,92	7,99	7,87	7,95	7,65	7,84
3	9/3	8,55	7,77	7,93	7,93	8,02	7,71	7,64	7,85	7,64
4	12/3	8,2	8,05	7,8	8,29	7,83	8,08	8,26	8,27	8,32
5	15/3	7,58	7,17	7,11	6,69	7,63	7,84	7,2	7,09	7,7
6	18/3	7,91	7,51	7,42	7,72	7,55	7,44	7,63	7,73	7,76
7	21/3	7,67	7,88	7,86	8,18	8,16	8,05	7,85	7,97	7,8
8	24/3	7,88	7,94	7,97	8,09	8,29	7,86	7,69	7,88	7,91
9	27/3	7,96	7,86	7,91	8,27	7,99	8,01	7,92	8,06	8,17
10	30/3	8,11	7,78	8,19	8,41	8,23	7,54	8,15	8,17	8,08

No	Tanggal	pH Lindi Reaktor ke -								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
11	2/4	8,21	8,07	8,22	8,31	8,14	7,86	8,01	8,11	8,22
12	5/4	8,1	8,37	8,16	8,18	8,36	8,21	8,24	8,23	8,45
13	8/4	8,07	9,06	8,25	8,82	8,54	8,41	8,3	8,4	8,63
14	11/4	8,29	8,28	8,3	8,33	8,47	8,25	7,98	8,47	8,08
15	14/4	8,4	8,43	8,27	8,41	8,28	8,02	8,11	8,28	8,35

### 3. Hasil Analisis Suhu Sampah

No	Tanggal	Suhu sampah reaktor ke - (°C)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	32,5	32,0	31,0	31,5	33,0	32,0	33,0	32,5	32,0
2	6/3	34,0	34,0	33,5	32,0	35,0	33,5	35,5	34,5	34,5
3	9/3	36,5	34,5	33,0	35,5	35,5	34,0	35,5	33,0	34,5
4	12/3	35,5	35,0	35,0	35,0	36,5	35,5	36,5	34,5	36,0
5	15/3	36,0	35,0	35,5	36,5	38,0	35,0	37,5	35,0	35,5
6	18/3	37,0	36,0	37,0	36,5	38,0	35,5	38,0	38,0	37,5
7	21/3	36,0	37,5	36,0	34,5	37,5	37,5	37,0	36,5	37,0

No	Tanggal	Suhu sampah reaktor ke - (°C)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
8	24/3	36,0	36,0	37,5	35,0	36,5	37,0	36,5	35,0	36,5
9	27/3	35,5	36,0	34,0	35,5	35,0	36,5	35,0	35,5	36,5
10	30/3	35,5	35,0	34,0	35,0	35,0	36,0	34,0	34,0	35,0
11	2/4	35,0	35,0	34,5	34,5	35,5	35,0	34,0	34,0	34,5
12	5/4	34,5	34,0	33,0	34,0	34,0	35,5	34,5	33,0	33,0
13	8/4	34,5	34,5	33,5	33,0	34,0	33,5	33,0	33,5	33,5
14	11/4	34,0	34,0	33,0	33,5	33,5	33,0	33,0	33,5	33,0
15	14/4	33,5	34,0	33,0	33,0	34,0	33,0	33,5	32,5	33,5

#### 4. Hasil Analisis Salinitas Lindi

No	Tanggal	Salinitas Reaktor ke – (ppt)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	-	-	-	7,83	7,62	7,16	7,43	9,99	10,10
2	6/3	-	-	-	7,86	5,93	6,34	7,90	8,32	8,10
3	9/3	-	-	-	7,42	6,05	6,83	6,71	6,55	8,71
4	12/3	-	-	-	6,71	7,08	6,78	7,42	8,20	8,34

No	Tanggal	Salinitas Reaktor ke – (ppt)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
5	15/3	-	-	-	6,54	7,32	7,44	8,06	8,57	8,55
6	18/3	-	-	-	6,74	6,67	7,59	7,50	7,97	8,53
7	21/3	-	-	-	6,89	7,03	7,53	8,26	8,05	8,53
8	24/3	-	-	-	7,25	8,37	7,61	8,11	7,99	9,55
9	27/3	-	-	-	7,10	8,45	8,22	8,07	8,81	11,50
10	30/3	-	-	-	6,89	6,82	8,09	7,62	7,36	8,63
11	2/4	-	-	-	7,67	6,66	6,69	7,47	8,03	9,14
12	5/4	-	-	-	8,73	7,89	8,42	8,14	8,09	9,33
13	8/4	-	-	-	6,51	6,64	7,62	8,23	7,62	9,09
14	11/4	-	-	-	8,84	7,47	7,85	8,60	7,39	8,68
15	14/4	-	-	-	7,22	7,93	8,01	8,03	8,36	8,40

### 5. Hasil Analisis Salinitas Sampah

No	Tanggal	Salinitas Reaktor ke – (ppt)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	0,33	0,43	0,37	0,40	0,36	0,44	0,26	0,63	0,29

No	Tanggal	Salinitas Reaktor ke – (ppt)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
2	6/3	0,33	0,43	0,37	0,40	0,36	0,44	0,26	0,63	0,29
3	9/3	0,37	0,41	0,45	0,64	0,34	0,28	0,59	0,63	0,52
4	12/3	0,69	0,36	0,32	0,51	0,38	0,37	0,54	0,45	0,39
5	15/3	0,27	0,42	0,40	0,40	0,39	0,66	0,84	0,67	0,38
6	18/3	0,29	0,28	0,26	0,37	0,31	0,40	0,43	0,42	0,38
7	21/3	0,10	0,26	0,34	0,46	0,31	0,42	0,48	0,40	0,36
8	24/3	0,21	0,37	0,37	0,42	0,34	0,47	0,41	0,49	0,41
9	27/3	0,18	0,33	0,22	0,30	0,33	0,35	0,37	0,44	0,44
10	30/3	0,12	0,35	0,35	0,36	0,25	0,39	0,58	0,39	0,38
11	2/4	0,20	0,31	0,29	0,29	0,28	0,44	0,47	0,32	0,29
12	5/4	0,19	0,27	0,32	0,33	0,33	0,58	0,43	0,38	0,31
13	8/4	0,23	0,30	0,41	0,38	0,37	0,49	0,49	0,27	0,47
14	11/4	0,21	0,33	0,36	0,30	0,31	0,41	0,39	0,34	0,36
15	14/4	0,28	0,34	0,33	0,38	0,41	0,21	0,46	0,46	0,46

## 6. Hasil Analisis Volume Lindi

No	Tanggal	Volume Lindi Reaktor ke – (mL)								
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
1	3/3	-	-	-	7200	7200	7200	7200	7200	7200
2	6/3	-	-	-	4225	3000	3296	3253	1775	3887
3	9/3	-	-	-	5281	4098	4648	4986	5155	4225
4	12/3	-	-	-	4225	3380	4267	4648	5197	4141
5	15/3	-	-	-	4056	4310	4732	4267	3887	2451
6	18/3	-	-	-	3972	3296	4774	4310	3655	3169
7	21/3	-	-	-	3613	2197	3697	3444	2852	1521
8	24/3	-	-	-	3042	2113	3634	3676	2535	930
9	27/3	-	-	-	2607	1105	2891	3259	1785	907
10	30/3	-	-	-	2662	718	3042	2915	1056	676
11	2/4	-	-	-	2662	465	2831	2535	1648	951
12	5/4	-	-	-	1700	135	1644	1417	878	510
13	8/4	-	-	-	2113	70	2113	2091	845	120
14	11/4	-	-	-	2155	80	2366	2070	1056	90
15	14/4	-	-	-	2641	100	2260	1817	1183	0

## 7. Hasil Analisis Volume Gas

No	Tanggal	Produksi Gas Reaktor ke – (mL)								
		R7	R9	R1	R3	R6	R5	R8	R4	R2
1	3/3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	6/3	23	13	20	33	0	33	7	0	17
3	9/3	23	13	20	33	0	33	10	0	20
4	12/3	7	7	20	33	20	33	10	0	20
5	15/3	17	7	20	33	20	33	10	33	20
6	18/3	17	15	10	37	22	7	7	33	32
7	21/3	8	5	10	37	8	8	7	17	32
8	24/3	8	5	10	37	7	8	10	17	32
9	27/3	8	5	18	37	7	8	13	17	32
10	30/3	8	5	18	37	7	8	3	17	32
11	2/4	3	10	18	10	27	5	3	10	32
12	5/4	8	10	18	10	27	10	18	13	32
13	8/4	8	10	18	10	10	10	18	13	32
14	11/4	8	10	18	10	10	10	18	10	32
15	14/4	10	10	18	10	10	5	10	10	23

## 8. Hasil Analisis Konsentrasi COD Lindi

No	Tanggal	Konsentrasi COD Reaktor ke – (mg/L)								
		R7	R9	R1	R3	R6	R5	R8	R4	R2
1	3/3	-	-	-	17920	15360	6400	3840	1920	4480
2	6/3	-	-	-	26880	18560	22400	28800	28160	18560
3	9/3	-	-	-	13440	27520	27520	27520	18560	26240
4	12/3	-	-	-	24320	26880	16000	26880	21120	17920
5	15/3	-	-	-	10368	13440	18432	16000	23040	22400
6	18/3	-	-	-	3840	19200	23520	22272	18560	17664
7	21/3	-	-	-	3456	9984	24960	8448	3072	18432
8	24/3	-	-	-	2304	5376	15360	4032	3072	8640
9	27/3	-	-	-	9216	6720	38400	7840	10640	14000
10	30/3	-	-	-	6912	5184	36096	6336	3360	7280
11	2/4	-	-	-	5600	4800	27520	8400	5600	16240
12	5/4	-	-	-	12000	9120	29440	9120	11040	12960
13	8/4	-	-	-	9120	3840	24320	9120	5760	6240
14	11/4	-	-	-	7680	4000	18560	9600	4320	4320
15	14/4	-	-	-	10000	4800	7600	9600	8800	7200

## 9. Hasil Analisis Konsentrasi COD Sampah

No	Tanggal	Konsentrasi COD Reaktor ke – (mg/L)								
		R7	R9	R1	R3	R6	R5	R8	R4	R2
1	3/3	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4	1598,4
2	6/3	2131,2	532,8	6393,6	1065,6	2131,2	3196,8	1598,4	8524,8	2664,0
3	9/3	2664,0	4795,2	1598,4	3729,6	3196,8	2664,0	2664,0	2131,2	2664,0
4	12/3	4795,2	7459,2	2131,2	4262,4	4262,4	1598,4	1598,4	1065,6	4795,2
5	15/3	7459,2	7992,0	2664,0	8524,8	9590,4	6926,4	6926,4	5328,0	3729,6
6	18/3	8436,0	6216,0	3552,0	2664,0	4884,0	5328,0	4884,0	6216,0	2220,0
7	21/3	8436,0	3729,6	1065,6	9057,6	5328,0	7992,0	4795,2	6926,4	6393,6
8	24/3	5328,0	4795,2	3729,6	8524,8	6393,6	8524,8	7459,2	9590,4	5860,8
9	27/3	8524,8	9590,4	5328,0	6393,6	5328,0	6393,6	6393,6	6393,6	7459,2
10	30/3	9057,6	6393,6	6926,4	6926,4	2664,0	6926,4	6926,4	7459,2	4262,4
11	2/4	6393,6	8524,8	7992,0	7459,2	7459,2	6393,6	7992,0	7459,2	7459,2
12	5/4	8524,8	5860,8	6926,4	6393,6	5860,8	7992,0	7459,2	5860,8	8524,8
13	8/4	7992,0	7992,0	6393,6	5860,8	5328,0	7459,2	6393,6	5328,0	5860,8
14	11/4	7459,2	5328,0	3196,8	4262,4	4262,4	5328,0	4262,4	3196,8	4795,2
15	14/4	4795,2	2131,2	2131,2	2131,2	4262,4	2664,0	3196,8	1598,4	4795,2

## 10. Hasil Analisis Konsentrasi pV Lindi

No	Tanggal	Konsentrasi pV Reaktor ke – (mg/L)								
		R7	R9	R1	R3	R6	R5	R8	R4	R2
1	3/3	-	-	-	1533,8	1699,0	1500,9	1812,3	1392,3	1581,0
2	6/3	-	-	-	7738,9	7474,7	6644,3	6682,1	5436,2	6606,6
3	9/3	-	-	-	9513,6	10193,0	16459,1	15100,4	12835,8	15251,3
4	12/3	-	-	-	6682,1	7701,1	8323,5	6040,5	6266,9	7021,8
5	15/3	-	-	-	5096,5	5096,9	9060,3	5889,5	6040,5	8154,1
6	18/3	-	-	-	6682,1	7701,1	8323,5	6040,5	6266,9	7021,8
7	21/3	-	-	-	5096,5	5096,9	9060,3	5889,5	6040,5	8154,1
8	24/3	-	-	-	6417,9	9588,3	15061,0	4898,3	7625,7	6455,2
9	27/3	-	-	-	5379,6	5945,7	5889,5	4473,7	5889,1	6738,3
10	30/3	-	-	-	4926,6	4813,4	6757,6	4756,8	4841,7	4813,4
11	2/4	-	-	-	5294,6	2973,2	6115,9	5124,8	5124,8	4587,0
12	5/4	-	-	-	4483,0	4465,2	5492,4	4766,0	3940,4	5001,9
13	8/4	-	-	-	5836,7	5621,5	6143,9	5352,6	4519,0	5298,8
14	11/4	-	-	-	6482,1	4079,5	6966,1	7315,7	3900,4	5675,3
15	14/4	-	-	-	5648,2	-	7261,9	4863,9	4124,4	3855,4

## 11. Hasil Analisis BOD Lindi

No	Reaktor ke-	Konsentrasi BOD Hari ke- (mg/L)						
		3/3	12/3	21/3	30/3	8/4	21/4	29/4
1	R1	-	-	-	-	-	-	-
2	R2	-	-	-	-	-	-	-
3	R3	-	-	-	-	-	-	-
4	R4	2080,83	1664,67	1664,33	1331,47	774,22	369,89	130,56
5	R5	1665,00	1665,00	1997,20	1331,47	369,89	-	-
6	R6	2775,00	3885,00	2220,00	1664,67	1248,50	1110,00	422,52
7	R7	832,33	416,17	332,87	332,87	354,13	396,33	-
8	R8	832,33	832,33	739,78	665,73	605,15	666,73	-
9	R9	2775,00	1110,00	1665,00	1331,47	708,27	832,33	182,78

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Une Hadyan Putri, biasa dipanggil dengan Une. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis lahir di Surabaya, pada tanggal 05 November 1992. Saat ini penulis menetap bersama keluarga di Kabupaten Sidoarjo. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Bunga Asih Pertiwi, SD Negeri Waru 2 Sidoarjo, SMP Negeri 1 Surabaya dan SMA Negeri 5 Surabaya. Pada tahun 2010, penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Lingkungan melalui jalur SNM-PTN dengan NRP 3310 100 075. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan dan menjadi anggota Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMTL pada periode kepengurusan 2011-2012. Selain aktif berorganisasi, penulis juga aktif berpartisipasi pada berbagai kegiatan dengan menjadi panitia pada acara besar seperti LITL pada tahun 2011 hingga 2013, Kampung Binaan pada periode 2010-2011 dan 2011-2012, Gerigi ITS 2011, *Earth Week* 2012, Pelatihan ISO 14001:2004 pada tahun 2010 dan 2011, serta Pelatihan OHSAS 18001:2007 pada tahun 2012. Penulis pernah mengikuti pelatihan Pra-LKMM TD pada tahun 2010, LKMM TD pada tahun 2011, dan ISO 14001:2004 pada tahun 2014. Pada tahun 2013, penulis melakukan Kerja Praktek di PT. Pertamina RU VI Balongan mengenai “Studi Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)”. Penelitian mengenai Resirkulasi Lindi Bersalinitas merupakan penelitian pertama penulis pada tahun 2014. Apabila ingin menghubungi penulis dapat melalui *e-mail* [unehp.putri@gmail.com](mailto:unehp.putri@gmail.com).