



TUGAS AKHIR - RE 141581

PENGARUH PENGGUNAAN SAMPAH TERDEGRADASI SEBAGAI TANAH PENUTUP HARIAN di TPA TERHADAP PEMBENTUKAN GAS METHAN DAN LEACHATE

GIAN CHRYSTIADINI
NRP 3312100069

Dosen Pembimbing
I.D.A.A. Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PENGARUH PENGGUNAAN SAMPAH
TERDEGRADASI SEBAGAI TANAH PENUTUP
HARIAN di TPA TERHADAP PEMBENTUKAN
GAS METHAN DAN *LEACHATE***

GIAN CHRYSTIADINI
NRP 3312100069

Dosen Pembimbing
I.D.A.A. Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RE 141581

***THE IMPACT OF DEGRADED SOLID WASTE
USAGE AS A DAILY LANDFILL COVER SOIL ON
FORMATION OF METHANE AND LEACHATE***

GIAN CHRYSTIADINI
NRP 3312100069

Supervisor
I.D.A.A. Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute and Technology
Surabaya 2017

**PENGARUH PENGGUNAAN SAMPAH
TERDEGRADASI SEBAGAI TANAH PENUTUP
HARIAN di TPA TERHADAP PEMBENTUKAN GAS
METHAN DAN LEACHATE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

GIAN CHRYSADIANI
NRP. 3312100069

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

7/1


L.D.A.A Warmadewanthi, ST, MT, PhD
NIP. 197502121999032001



PENGARUH PENGGUNAAN SAMPAH TERDEGRADASI SEBAGAI TANAH PENUTUP HARIAN di TPA TERHADAP PEMBENTUKAN GAS METHAN DAN *LEACHATE*

Nama Mahasiswa : Gian Chrystiadini
NRP : 3312100069
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : I.D.A.A. Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Beberapa penelitian mengenai pemanfaatan sampah yang sudah terdegradasi di tempat pemrosesan akhir (TPA) atau *landfill* sebagai tanah penutup telah dilakukan. Penelitian sudah dilaksanakan di beberapa daerah di Indonesia dan juga di negara lain. Tanah penutup ini dinamakan dengan *biocover*. Berdasar penelitian terdahulu *biocover* juga merupakan alternatif yang efektif dalam mengatasi pencemaran akibat gas metan dan *leachate*. Faktor yang perlu mendapatkan perhatian terutama dalam aplikasi penggunaan *biocover* ini adalah terkait ketersediaan dari mikroorganisme di dalam menguraikan gas metan. Selain itu porositas dari tanah akan mempengaruhi pengaliran *leachate*. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan sampah yang sudah terdegradasi di TPA Keputih dan TPA Benowo sebagai tanah penutup harian TPA.

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis *biocover* dan perbandingan ketebalan *biocover* terhadap sampah kota yang ditimbun di *landfill*. Jenis *biocover* yang digunakan adalah tanah terdegradasi bekas TPA Keputih Surabaya dan tanah terdegradasi TPA Benowo Surabaya. TPA Keputih Surabaya sudah ditutup sejak tahun 2001 dan tanah TPA Benowo sudah terdegradasi selama kurang lebih 5 tahun. Keadaan tanah yang telah lama terdegradasi mengindikasikan tanah telah menjadi tanah kompos. Variabel yang lainnya adalah

ketebalan tanah penutup harian yaitu 15 cm, 20 cm dan 30 cm. Pada penelitian ini diamati volume gas metan yang dihasilkan termasuk komposisi gas. Selain itu diamati laju pembentukan *leachate* serta total volumenya dan kualitas *leachate* yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan pada ketebalan tanah penutup 15 cm, kemampuan tanah TPA Lama yang mampu mereduksi 98,10% gas metan yang terbentuk sedangkan Tanah TPA Baru hanya mampu mereduksi 60,34% gas metan dari total gas metan yang terbentuk. Selain itu, pada ketebalan *biocover* 15 cm tanah TPA Lama mampu menahan air hujan yang masuk ke tanah hingga 20,52% dan tanah TPA baru sebesar 14,59%. Selanjutnya, semakin tebal *biocover* semakin banyak gas metan dan *leachate* yang dapat di reduksi. Hasil penelitian juga menunjukan perbedaan reduksi gas metan dan *leachate* pada variasi *biocover* setebal 20 cm terlihat signifikan bila dibandingkan dengan ketebalan *biocover* 15 cm. Namun, perbedaan reduksi gas metan dan *leachate* dengan ketebalan *biocover* 30 cm tidak terlihat signifikan dibandingkan dengan ketebalan *biocover* 20 cm. Melihat hasil tersebut, maka ketebalan *biocover* paling optimum untuk digunakan sebagai tanah penutup adalah 20 cm.

Kata Kunci : *biocover*, ketebalan *biocover*, *leachate*, gas metan, sampah terdegradasi.

**THE IMPACT OF DEGRADED SOLID WASTE USAGE AS A DAILY
LANDFILL COVER SOIL ON FORMATION OF METHANE AND
LEACHATE**

Student Name : Gian Chrystiadini
NRP : 3312100069
Department : Environmental Engineering
Supervisor : I.D.A.A. Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

Several studies about utilization of degraded waste in the final processing site (TPA) or landfill as land cover have observed. Research has conducted in several regions in Indonesia as well as in other countries. This soil cover called biocover. Based on previous research biocover is also an effective alternative in overcoming pollution due to methane and leachate. Factors that need to be notice especially in the application of biocover use are relate to the availability of microorganisms in degradation methane gas. In addition, the porosity of the soil will affect leachate drainage. This study aims to examine the use of degraded waste in TPA Keputih and TPA Benowo as land cover for daily TPA

Variable used in this research are biocover type and comparison of biocover thickness to municipal solid waste wich dumped in landfill. The type of biocover used is degraded land of the former TPA Keputih Surabaya and land degraded TPA Benowo Surabaya. TPA Keputih Surabaya has closed since 2001 and Benowo TPA land has degraded for more than 5 years. Long-degraded land conditions indicate that the soil has become compostable soil. Other variable is thickness of the daily cover soil, which is 15 cm, 20 cm and 30 cm. In this research we observed the volume of methane gas produced including gas composition. In addition, it observe the rate of leachate formation as well as the total volume and quality of leachate produced.

Study result show in the thickness of the cover soil 15 cm, the ability of old landfill biocover can reduce 98,10% of methane gas and the new landfill biocover can reduce only 60,34%. In the thickness of the cover soil 15 cm the old landfill biocover can hold the rainfall untill 20,52% and the new landfill biocover can hold only 14,59%. Furthermore, much tichker biocover, much methane gas and leachate can be reduce. Study result also show the differences of methane gas and leachate reduction in biocover variation with thickness of 20 cm is significant when compared with the thickness of 15 cm. However, the difference of methane gas and leachate reduction in biocover variation with thickness of 30 cm did not look significant when compared with the thickness of 20 cm. Looking at the result, the most optimum of biocover thickness used for cover soil in landfill is 20 cm.

Keywords: biocover, degraded solid waste, leachate, methane, thickness of biocover.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan YME, atas kasih, perlindungan dan pimpinanNYA, laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Penggunaan Sampah Terdegradasi Sebagai Tanah Penutup Harian di TPA Terhadap Pembentukan Gas Methan dan *Leachate*”** ini ditulis untuk menyelesaikan Pendidikan S1 Program Sarjana Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulisan Laporan Tugas Akhir dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan bimbingan dari pihak-pihak yang terkait dalam pelaksanaannya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu I.D.A.A.Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing saya yang telah sabar dan menyediakan banyak waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan arahan, bimbingan, dan saran.
2. Bapak Arseto Yekti Bagastyo S.T., M.T., M.Phil., Ph.D., Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc., Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, M.Sc., Ph.D. dan Ibu Dr. Ir. Ellina S. Pandebesie, M.T., selaku Dosen Pengarah dan Penguji yang memberikan arahan, saran, dan kritik yang membangun serta banyak kata mutiara yang memotivasi.
3. Bapak Welly Herumurti, S.T., M.Sc. selaku Dosen Wali yang telah banyak membimbing dan mengarahkan selama di bangku perkuliahan. Terimakasih untuk setiap *sharing* yang membangun dan memotivasi.
4. Bapak Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Lingkungan, FTSP, ITS, Surabaya yang telah banyak membantu kelancaran dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir.
5. Ibu Harmin Sulistiyaningtitah, ST, MT, Ph.D selaku koordinator tugas akhir Departemen Teknik Lingkungan, FTSP, ITS, Surabaya yang telah sabar dan banyak membimbing serta memberi masukan dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir.

6. PTSO (PT. Sumber Organik), pengelola TPA Benowo Surabaya, yang telah membantu untuk mempermudah proses pengambilan sampel dan mengawal kegiatan di TPA Benowo.
7. Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Surabaya yang telah memberikan perijinan dan surat pengantar untuk pengambilan sampel di TPA Benowo dan bekas TPA Keputih Surabaya.
8. Tim Boring Lab Mektan, Teknik Sipil, ITS bekerjasama dengan CV. Binerkahan Engineering yang telah meluangkan banyak waktu dan memberikan bantuan dana dalam pengerjaan boring untuk pengambilan sampel.
9. Ayah dan Ibu terkasih serta kakak-kakak yang luar biasa dalam mendukung keberhasilan dan pengerjaan tugas akhir. Terimakasih untuk segala dukungan baik dana, waktu, tenaga dan pemikirannya. Kiranya Tuhan selalu memberikan kesehatan dan kebahagiaan untuk ayah, ibu dan seluruh saudara terkasih.
10. Dwi Indarto, suami terhebat yang selalu menyediakan waktu untuk membantu pengerjaan tugas akhir dan menyediakan diri untuk mendengar setiap keluh kesah penulis.
11. Ibu Yulinah, Pak Rano, Bu Ghina, dan Vika saudara-saudara satu lab yang selalu menghibur, mendukung dan memberikan semangat.
12. Teman-teman satu bimbingan, Martha, Tamara, mas Roy, yang saling mendukung dan memberi semangat.
13. Teman-teman Angkatan 2012 (khususnya Danda, Fitrah, Alam, dan Kice), adik-adik angkatan (khususnya Trifenna, Bara, Yana, Parama, Indi, Rina, dan Dwi), yang selalu memberikan bantuan fisik, doa, semangat, dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir.
14. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulisan laporan ini telah dikerjakan dengan maksimal namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Surabaya, 14 Juni 2017
Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 RUANG LINGKUP.....	4
1.5 MANFAAT PENELITIAN.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SAMPAH (TPA).....	7
2.2 <i>LANDFILLING</i> TPA.....	9
2.2.1 Metode Trench atau Ditch.....	9
2.2.2 Metode Trench - Area.....	10
2.3 KARAKTERISTIK SAMPAH TPA TERDEGRADASI.....	10
2.3.1 Karakteristik Fisik	11
2.3.2 Karakteristik Kimia.....	12
2.3.3 Karakteristik Biologis	14
2.3.4 Mikroorganisme pada Sampah Terdegradasi	14
2.4 REAKSI YANG TERJADI DI <i>LANDFILL</i>	16
2.5 PROSES DEKOMPOSISI ANAEROBIK SAMPAH	17
2.6 PEMBENTUKAN GAS PADA <i>LANDFILL</i>	19
2.7 PEMBENTUKAN <i>LEACHATE</i> PADA <i>LANDFILL</i>	21
2.8 <i>LANDFILLING</i> TPA DENGAN <i>BIOCOVER</i>	23
2.9 PENELITIAN TERDAHULU	24
2.10 GAMBARAN UMUM TPA BENOWO SURABAYA.....	26
2.11 GAMBARAN UMUM TPA KEPUTIH SURABAYA	28

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	GAMBARAN UMUM PENELITIAN.....	31
3.2	KERANGKA PELAKSANAAN PENELITIAN.....	31
3.3	TAHAPAN PELAKSANAAN PENELITIAN	34
3.3.1	Ide Penelitian.....	34
3.3.2	Studi Literatur.....	35
3.3.3	Pengumpulan Data.....	36
3.3.4	Lokasi Titik Sampling.....	38
3.3.5	Metode Pengambilan Sampel & Pengujian Parameter .	38
3.3.5.1	Metode Pengambilan Sampel.....	38
3.3.5.2	Pengujian Parameter.....	40
3.3.5.3	Pembuatan Reaktor Penelitian	41
3.4	ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	50
3.5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	50

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	PENELITIAN PENDAHULUAN	51
4.1.1	Pembuatan Reaktor Penelitian	51
4.1.2	Pengambilan Sampel Sampah TPA Terdegradasi.....	52
4.1.3	Karakteristik Fisik Tanah Penutup.....	55
4.1.4	Karakteristik Kimia Tanah Penutup	56
4.1.5	Karakteristik Sampah Pasar.....	57
4.2	PENGARUH UMUR DAN KETEBALAN <i>BIOCOVER</i> TERHADAP PEMBENTUKAN GAS	59
4.2.1	Pembentukan Gas Secara Stoikiometri.....	59
4.2.2	Produksi Gas Harian pada Setiap Reaktor Uji.....	61
4.2.2.1	Kuantitas Biogas Harian pada Setiap Reaktor Uji.....	61
4.2.2.2	Kuantitas Gas Methan Harian pada Setiap Reaktor Uji	64
4.2.3	Akumulasi Produksi Gas Harian pada Reaktor Uji.....	68
4.2.3.1	Akumulasi Produksi Biogas Harian pada Reaktor Uji ...	68
4.2.3.2	Akumulasi Produksi Gas Methan Harian Reaktor Uji	71
4.3	PENGARUH UMUR DAN KETEBALAN <i>BIOCOVER</i> TERHADAP PEMBENTUKAN <i>LEACHATE</i>	74
4.3.1	Produksi <i>Leachate</i> Mingguan pada Setiap Reaktor Uji .	74

4.3.1.1	Kuantitas <i>Leachate</i> Mingguan pada Reaktor Uji	74
4.3.1.2	Akumulasi Produksi <i>Leachate</i> Mingguan pada Setiap Reaktor Uji	78
4.3.2	Pengaruh Umur dan Ketebalan <i>Biocover</i> Terhadap Kandungan COD <i>Leachate</i>	82
4.3.3	Pengaruh Umur dan Ketebalan <i>Biocover</i> Terhadap Kandungan pH <i>Leachate</i>	86
4.4	PENELITIAN KETEBALAN OPTIMUM.....	91
4.4.1	Produksi Gas Harian Ketebalan Optimum	91
4.4.1.1	Kuantitas Biogas Harian Ketebalan Optimum.....	92
4.4.1.2	Kuantitas Gas Methan Ketebalan Optimum.....	93
4.4.2	Akumulasi Produksi Gas Harian Ketebalan Optimum ...	94
4.4.3	Kuantitas <i>Leachate</i> Mingguan Ketebalan Optimum	95
4.4.4	Akumulasi <i>Leachate</i> Ketebalan Optimum.....	96
4.4.5	Kandungan COD <i>Leachate</i> Ketebalan Optimum	97
4.4.6	Kandungan pH <i>Leachate</i> Ketebalan Optimum.....	98
4.5	WATER BALANCE.....	100
4.6	PENGUJIAN KARAKTERISTIK AKHIR.....	103
4.6.1	Karakteristik Akhir Sampah Pasar Keputran.....	103
4.6.2	Karakteristik Akhir <i>Biocover</i>	106

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	KESIMPULAN	107
5.2	SARAN.....	109
	DAFTAR PUSTAKA	111

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data Analisis <i>Proximate</i>	13
Tabel 2.2	Data Analisis <i>Ultimate</i>	13
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu.....	24
Tabel 3.1	Parameter yang Diuji Tahap Observasi dan Akhir Penelitian	37
Tabel 3.2	Parameter yang Diuji Tahap Penelitian	37
Tabel 3.3	Variabel Penelitian.....	42
Tabel 3.4	Komposisi Material Uji Setiap Reaktor Uji	47
Tabel 4.1	Hasil Uji Karakteristik Fisik Tanah Penutup	52
Tabel 4.2	Hasil Uji Karakteristik Kimia Tanah Penutup	55
Tabel 4.3	Uji Karakteristik Kimia Sampah Pasar Keputran.....	57
Tabel 4.4	Komposisi Kimia Sampah Pasar Keputran.....	58
Tabel 4.5	Data <i>Water Balance</i>	102
Tabel 4.6	Perhitungan <i>Water Balance</i>	102
Tabel 4.7	Perbandingan Karakteristik Fisik Awal dan Akhir Sampah Pasar Keputran.....	103
Tabel 4.8	Perbandingan Karakteristik Kimia Awal dan Akhir Sampah Pasar Keputran.....	105
Tabel 4.9	Karakteristik Fisik Awal dan Akhir <i>Biocover</i>	106
Tabel 4.10	Karakteristik Kimia Awal dan Akhir <i>Biocover</i>	107

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi <i>Landfill</i> Berdasarkan Tipe Peletakan Sampah.....	8
Gambar 2.2	Pengurangan Metode <i>Trench</i> atau <i>Ditch</i>	9
Gambar 2.3	Pengurangan Metode Campuran.....	10
Gambar 2.4	Degradasi Sampah Secara Anaerobik.....	18
Gambar 2.5	Sistem Kontrol Gas pada <i>Landfill</i>	20
Gambar 2.6	Lokasi TPA Benowo	27
Gambar 2.7	Lokasi Taman Sakura (eks. TPA Keputih)	29
Gambar 3.1	Kerangka Penelitian	33
Gambar 3.2	Pengambilan Sampel dengan Metode <i>Boring</i>	39
Gambar 3.3	Sketsa Rangkaian Reaktor Penelitian.....	48
Gambar 3.4	Sketsa Detail Berskala Reaktor Penelitian	49
Gambar 4.1	Diagram Jenis Tanah Trilinier.....	54
Gambar 4.2	Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo.....	62
Gambar 4.3	Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo.....	62
Gambar 4.4	Biogas Harian Variasi Tanah Penutup	63
Gambar 4.5	Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo	65
Gambar 4.6	Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih.....	66
Gambar 4.7	Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA.....	66
Gambar 4.8	Akumulasi Pembentukan Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo ..	69
Gambar 4.9	Akumulasi Pembentukan Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih ...	69
Gambar 4.10	Akumulasi Pembentukan Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA.....	70

Gambar 4.11	Akumulasi Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo	72
Gambar 4.12	Akumulasi Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih.....	72
Gambar 4.13	Akumulasi Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA	73
Gambar 4.14	Pembentukan <i>Leachate</i> Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo	75
Gambar 4.15	Pembentukan <i>Leachate</i> Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih.....	76
Gambar 4.16	Pembentukan <i>Leachate</i> Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA.....	77
Gambar 4.17	Akumulasi Pembentukan <i>Leachate</i> Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo	79
Gambar 4.18	Akumulasi Pembentukan <i>Leachate</i> Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih.....	80
Gambar 4.19	Akumulasi Pembentukan <i>Leachate</i> Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA	81
Gambar 4.20	Kandungan COD <i>Leachate</i> Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo	83
Gambar 4.21	Kandungan COD <i>Leachate</i> Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih.....	84
Gambar 4.22	Kandungan COD <i>Leachate</i> Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA.....	85
Gambar 4.23	Kadar pH <i>Leachate</i> Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo	87
Gambar 4.24	Kadar pH <i>Leachate</i> Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih.....	88
Gambar 4.25	Kadar pH <i>Leachate</i> Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA.....	89

Gambar 4.26	Biogas Harian Ketebalan Optimum.....	92
Gambar 4.27	Gas Methan Ketebalan Optimum.....	93
Gambar 4.28	Akumulasi Biogas Harian Ketebalan Optimum...	94
Gambar 4.29	Akumulasi Gas Methan Ketebalan Optimum.....	94
Gambar 4.30	Pembentukan <i>Leachate</i> Ketebalan Optimum.....	95
Gambar 4.31	Akumulasi <i>Leachate</i> Ketebalan Optimum	96
Gambar 4.32	COD <i>Leachate</i> Ketebalan Optimum.....	97
Gambar 4.33	Kadar pH <i>Leachate</i> Ketebalan Optimum.....	99
Gambar 4.34	Skematik <i>Water Balance</i>	100

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	PROSEDUR ANALISIS.....	121
Lampiran A.1	Perhitungan Substrat	121
Lampiran A.2	Analisis Suhu.....	121
Lampiran A.3	Analisis pH.....	121
Lampiran A.4	Analisis Kadar Air dan Volatil	121
Lampiran A.5	Analisis C-Organik	123
Lampiran A.6	Analisis Total Nitrogen	124
Lampiran A.7	Analisis Logam Berat	126
Lampiran A.8	Analisis pH <i>Leachate</i>	128
Lampiran A.9	Analisis COD <i>Leachate</i>	128
Lampiran B	HASIL ANALISIS	131
Lampiran B.1	Perhitungan Kuantitas Gas Harian	132
Lampiran B.2	Perhitungan Akumulasi Kuantitas Gas Harian .	134
Lampiran B.3	Perhitungan Kuantitas <i>Leachate</i>	137
Lampiran B.4	Perhitungan Akumulasi Kuantitas <i>Leachate</i>	138
Lampiran B.5	Perhitungan COD <i>Leachate</i>	139
Lampiran B.6	Perhitungan pH <i>Leachate</i>	140
Lampiran B.7	Uji Laboratorium Gas Methan.....	141
Lampiran B.7.1	Uji GC Gas Methan Murni	141
Lampiran B.7.2	Uji GC Gas Methan Reaktor 4.....	142
Lampiran B.7.3	Uji GC Gas Methan Reaktor 11	143
Lampiran B.7.4	Uji GC Gas Methan Reaktor 14.....	144
Lampiran B.7.5	Uji GC Gas Methan Reaktor 15.....	145
Lampiran B.8	Uji Laboratorium Kimia <i>Biocover</i>	146
Lampiran B.8.1	Uji Laboratorium Kimia TPA Benowo.....	146
Lampiran B.8.2	Uji Laboratorium Kimia TPA Keputih.....	147
Lampiran B.8.3	Uji Laboratorium Kimia TPA Tlekung.....	148
Lampiran B.8.4	Uji Laboratorium Kimia Sampah Pasar	149
Lampiran B.8.5	Uji Laboratorium Kimia Akhir Penelitian	150

Lampiran B.9 Uji Karakteristik Fisik <i>Biocover</i>	151
Lampiran B.9.1 Uji Karakteristik Fisik TPA Benowo.....	151
Lampiran B.9.2 Uji Karakteristik Fisik TPA Keputih	152
Lampiran B.9.3 Uji Karakteristik Fisik TPA Tlekung.....	153
Lampiran B.9.4 Uji Karakteristik Fisik Sampah Pasar	154
Lampiran B.10 Uji Deskripsi Boring.....	155
Lampiran B.10.1 Uji Deskripsi Boring TPA Keputih	155
Lampiran B.10.2 Uji Deskripsi Boring TPA Benowo.....	156
Lampiran B.11 Perhitungan Akhir Kadar Air dan Volatil.....	157
Lampiran C DOKUMENTASI	159
Lampiran C.1 Dokumentasi Pengambilan Sampel Sampah Bekas TPA Keputih.....	159
Lampiran C.2 Dokumentasi Pengambilan Sampel Sampah TPA Benowo	160
Lampiran C.3 Dokumentasi Pengambilan Sampel Sampah Pasar Keputran Surabaya.....	161
Lampiran C.4 Dokumentasi Perangkaian Reaktor.....	162
Lampiran C.5 Dokumentasi Pengambilan Sampel <i>Leachate</i> .	163
Lampiran C.6 Dokumentasi Uji COD <i>Leachate</i>	163
Lampiran C.7 Dokumentasi Pengambilan Sampel Gas	164
Lampiran C.8 Dokumentasi Pembongkaran Reaktor	164
Lampiran C.9 Dokumentasi Pengukuran Karakteristik Akhir ..	165
Lampiran C.10 Dokumentasi Penampang Akhir	166
Lampiran C.11 Dokumentasi Uji Kadar Air dan Volatil	167

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sampah yang ditimbun di *landfill* akan menghasilkan gas metan dan *leachate*. *Leachate* merupakan cairan hasil proses degradasi sampah (Tchobanoglous *et al.*, 1993) dan dari masuknya air hujan ke dalam tumpukan sampah (Rokhman dan Artiani, 2015). Tidak hanya menghasilkan *leachate*, degradasi sampah juga menghasilkan CH₄ (metana) yang memiliki kontribusi cukup tinggi terhadap perubahan iklim. Emisi metana dari *landfill* menempati peringkat ketiga diantara sumber timbulan gas metan yang ada di tempat lain. Emisi yang terjadi sebagian besar disebabkan oleh kurang efektifnya sistem pengumpulan gas pada *landfill* terutama pada sistem *open dumping* (Bogner *et al.*, 2007) dan juga akibat ketidakberadaan tanah penutup yang baik dalam menguraikan gas yang terbentuk (Kurniasari *et al.*, 2013).

Salah satu cara yang efektif untuk mereduksi metana pada *landfill* adalah dengan menggunakan tanah penutup yang reaktif secara biologis sebagai media oksidasi (Kristanto *et al.*, 2014). Salah satu tanah yang reaktif secara biologis adalah sampah yang telah terdegradasi. Sifat reaktif secara biologis diakibatkan oleh kandungan sampah terdegradasi yang kaya mikroorganisme yang mampu melakukan degradasi terhadap metana (Stern *et al.*, 2007). Pemanfaatan sampah terdegradasi sebagai *biocover* belum banyak diaplikasikan di Indonesia walaupun banyak keuntungan yang bisa didapatkan. Pada media *biocover*, mikroorganisme yang ada pada sampah terdegradasi akan menyaring udara dan membentuk biofilm. Saat metana melewati media filter *biocover*, maka mikroorganisme akan menjalankan tugasnya melakukan degradasi metana (Kristanto *et al.*, 2014).

Proses oksidasi metana merupakan sebuah proses dimana gas metan diubah menjadi H₂O, CO₂, dan biomassa. Proses oksidasi yang terjadi sangat bergantung dengan adanya mikroorganisme metanotrofik, ketersediaan nutrien, dan tingkat

kelembapan yang cukup pada media. Bakteri metanotrofik memerlukan nutrisi untuk metabolisme sel disamping substrat karbon yang diberikan oleh metana (Kurniasari *et al.*, 2014). *Nutrient* digunakan untuk sintesis sel bakteri. Umumnya *nutrient* ada dalam bentuk anorganik seperti amonia dan nitrat yang terdapat dalam sampah yang ada pada tumpukan *landfill* (Purwanta *et al.*, 2012). Ketersediaan *nutrient* dapat dilihat melalui rasio C:N. Rasio C:N yang direkomendasikan oleh Humer *et al.* (2008) untuk oksidasi optimum gas metana adalah sebesar minimal 14. Penelitian Kurniasari *et al.* (2014) menunjukkan bahwa sampah terdegradasi memiliki rasio C:N yang lebih dari 14, sehingga semakin baik dalam oksidasi metana. Penelitian lain menunjukkan semakin tinggi kelembapan media semakin tinggi pula oksidasi metana yang dicapai. Penurunan aktivitas oksidasi juga dapat terjadi apabila kadar air terlalu tinggi sehingga pori-pori tanah tertutup dengan air sehingga dapat menghambat aliran gas (Albanna *et al.*, 2007). Temperatur optimal yang digunakan mikroorganisme untuk mengoksidasi metana adalah 25°C hingga 35°C (Park *et al.*, 2009). Temperatur pada kondisi tersebut menunjukkan oksidasi metana cukup baik dilakukan untuk kondisi lingkungan di kota Surabaya (Kurniasari *et al.*, 2014).

Beberapa faktor kimia dan fisik mempengaruhi efektivitas pengurangan gas metana dengan penggunaan *biocover* diantaranya ketebalan tanah, pemadatan tanah, porositas, kandungan zat organik, dan pH (Kumar *et al.*, 2011). Syarat *biocover* adalah memiliki porositas yang cukup untuk transfer oksigen. Media dengan porositas tinggi akan mengoksidasi gas metana lebih baik. Hal ini terjadi karena gas dalam media dapat mengalir lebih baik sehingga bakteri dapat melakukan oksidasi dengan lebih baik pula (Abichou, 2009). Komposisi tanah juga merupakan parameter yang penting karena tekstur tanah dan ukuran butir mempengaruhi difusi oksigen. Peningkatan oksidasi metana pada peningkatan ketebalan lapisan *biocover* menunjukkan bahwa semakin tebal *biocover* semakin tinggi oksidasi metana (Kurniasari *et al.*, 2013). Faktor lain yang mempengaruhi kelayakan *biocover* adalah kandungan logam berat pada tanah. Hasil analisis logam berat yang dilakukan oleh Kurniasari *et al.* (2014), kompos *biocover* memiliki kandungan Cu,

Cr, Zn, dan Pb. Kandungan logam berat yang ada dalam sampah terdegradasi juga memiliki efek menghambat oksidasi gas metan pada penambahan 250 mg/kg Cu. Peningkatan jumlah Cu yang ditambahkan selanjutnya tidak memberi penurunan yang signifikan pada oksidasi gas metan (Lee *et al.*, 2009).

Peningkatan oksidasi gas metan diharapkan beriringan dengan peningkatan ketebalan lapisan *biocover*, karena adanya peningkatan massa dan volume media yang akan mendukung tumbuh kembang bakteri (Einola *et al.*, 2010). Hal ini diperkuat dengan pernyataan Stern *et al.* (2007), bahwa cover yang tebal akan memberikan waktu retensi lebih lama bagi gas metan sehingga reduksi gas metan dapat berjalan lebih baik.

Surabaya mempunyai lahan bekas TPA di wilayah Keputih yang sudah ditutup sejak tahun 1998 (Silas *et al.*, 2014). Setelah TPA Keputih ditutup, digunakan lahan TPA di daerah Benowo yang sudah beroperasi mulai tahun 2001 (Eka, 2016). Berdasarkan lama penggunaan TPA, dapat diperkirakan bahwa sampah yang tertumpuk sudah mengalami degradasi. Lahan penimbunan sampah semakin lama semakin berkurang sehingga diperlukan upaya untuk memanfaatkan sampah yang sudah tertimbun di TPA. Pada penelitian ini akan dianalisis kelayakan penggunaan sampah yang sudah terdegradasi sebagai tanah penutup harian di TPA. Selain itu akan dikaji kemampuan sampah terdegradasi sebagai *biocover* dalam mereduksi gas metan dan *leachate* dengan ketebalan yang paling optimum dalam mereduksi gas metan dan *leachate*.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah pengaruh umur sampah terdegradasi di *landfill* terhadap kemampuannya sebagai *biocover*?
2. Berapa ketebalan optimum dari *biocover* sehingga dapat mereduksi jumlah gas metan yang dihasilkan dan juga jumlah *leachate* yang terbentuk?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengkaji penggunaan sampah terdegradasi dengan usia lebih dari 15 tahun di bekas TPA Keputih Surabaya dan dengan usia kurang dari 5 tahun di TPA Benowo Surabaya sebagai tanah penutup di TPA.
2. Menentukan perbandingan ketebalan *biocover* dan timbunan sampah yang paling efektif dan berpengaruh terhadap oksidasi gas metan dan banyaknya *leachate* yang dihasilkan.

1.4 RUANG LINGKUP

Ruang lingkup yang ditentukan untuk penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Tanah *biocover* yang digunakan adalah sampah terdegradasi bekas TPA Keputih Surabaya dan sampah terdegradasi TPA Benowo Surabaya.
2. Sampah uji yang digunakan sebagai sumber gas metan dan *leachate* adalah sampah Pasar Keputran, Surabaya.
3. Pengambilan sampel tanah *biocover* dilakukan dengan peralatan boring mesin dan pengambilan sampah pasar secara manual menggunakan sekop.
4. Variabel yang digunakan adalah perbandingan ketebalan sampah terdegradasi bekas TPA Keputih Surabaya atau sampah terdegradasi TPA Benowo Surabaya dengan sampah pasar.

1.5 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Sebagai media informasi tentang karakteristik sampah terdegradasi bekas TPA Keputih Surabaya dan sampah terdegradasi TPA Benowo Surabaya.
2. Sebagai media informasi tentang efisiensi perbandingan tebal *biocover* dengan sampah kota.
3. Sebagai alternatif pemilihan tanah penutup TPA yang lebih efisien.
4. Sebagai alternatif untuk menurunkan pencemaran udara oleh gas metan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

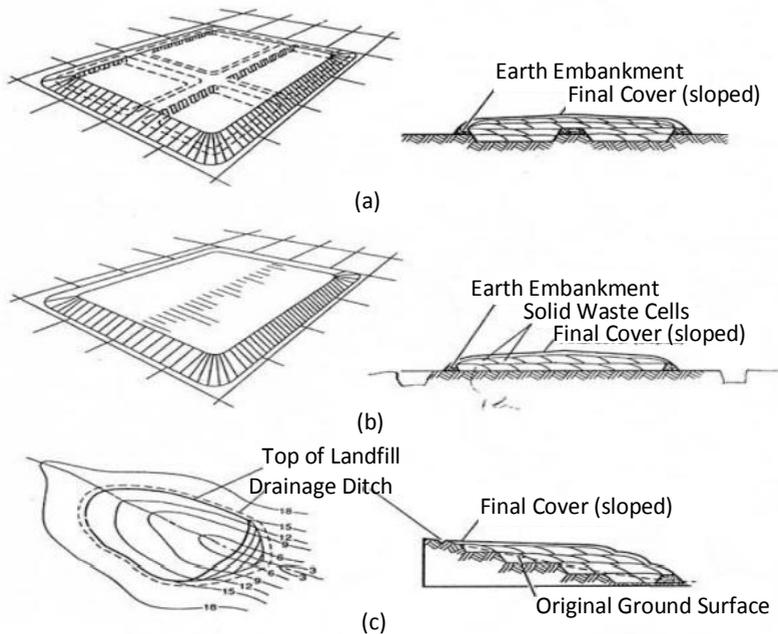
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SAMPAH (TPA)

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) merupakan tempat dimana sampah diisolasi secara aman agar tidak menimbulkan gangguan terhadap lingkungan sekitarnya. Permasalahan yang timbul akibat TPA yang tidak tertangani dengan baik cukup mengkhawatirkan. Permasalahan tersebut diantaranya: pertumbuhan vektor penyakit, pandangan dan bau tak sedap, pencemaran *leachate*, kebisingan akibat operasi kendaraan berat dalam TPA (Abichou *et al.*, 2009). Hal lain yang perlu menjadi konsentrasi berkenaan dengan timbulnya kerugian adalah pencemaran udara oleh gas metana (CH₄). Kondisi TPA yang memiliki banyak dampak terhadap lingkungan tentunya memerlukan perbaikan sesuai dengan standar pengelolaan sampah. Perbaikan kondisi TPA sangat diperlukan dalam pengelolaan sampah pada skala kota. Karenanya diperlukan penyediaan fasilitas dan perlakuan yang benar agar keamanan tersebut dapat dicapai dengan baik (Nuriana *et al.*, 2016).

Dilihat berdasarkan tipe peletakannya, TPA atau yang akrab disebut *landfill* dapat diklasifikasikan menjadi beberapa cara. Cara pertama adalah dengan mengisi lembah atau cekungan. Metode ini digunakan untuk penimbunan sampah pada daerah lembah, seperti tebing, jurang, cekungan kering, dan bekas galian. Metode ini dikenal dengan *depression method*. Teknik peletakan dan pemadatan sampah tergantung pada beberapa faktor. Faktor yang mempengaruhi diantaranya jenis material penutup, kondisi geologi dan hidrologi, fasilitas pengontrolan *leachate* dan gas, dan sarana menuju lokasi. Cara kedua adalah dengan mengupas lahan secara bertahap. Pengupasan membentuk parit-parit tempat penimbunan sampah dikenal sebagai metode *trench*. Metode ini digunakan pada area yang memiliki muka air tanah yang dalam. Area yang digunakan digali dan dilapisi dengan bahan yang biasanya terbuat dari membran sintesis atau tanah liat dengan permeabilitas yang rendah. Cara

terakhir adalah dengan menimbun sampah di atas lahan. Untuk daerah yang datar, dengan muka air tanah tinggi, dilakukan dengan cara menimbun sampah di atas lahan. Cara ini dikenal sebagai metode area. Sampah dibuang menyebar memanjang pada permukaan tanah. Setiap lapis dalam proses pengisian akan dipadatkan, dan ditutup dengan material penutup setebal 15-30 cm. Luas area penyebaran bervariasi tergantung pada volume timbulan sampah dan luas lahan yang tersedia (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Klasifikasi yang telah disebutkan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Melalui cara yang dijabarkan tersebut dapat diketahui bahwa setiap *landfill* harus memiliki tanah penutup. Tanah penutup yang baik akan menghasilkan kualitas TPA yang baik untuk mengurangi permasalahan yang timbul.



Commonly used landfilling methods: (a) excavated cell/trench, (b) area, and (c) canyon/depression.

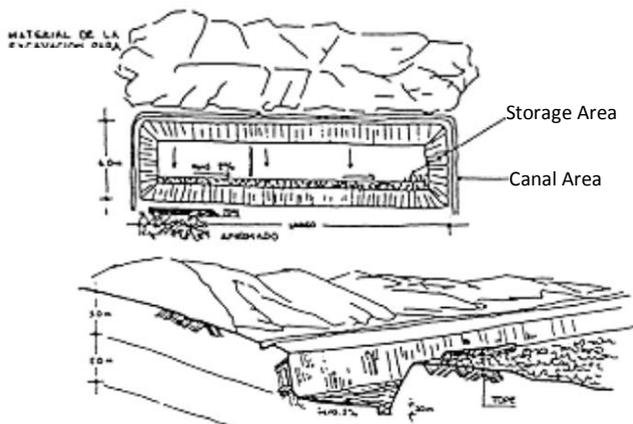
Gambar 2.1 Klasifikasi *Landfill* Berdasarkan Tipe Peletakan Sampah
Sumber : Tchobanoglous et al. (1993)

2.2 LANDFILLING TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SAMPAH

Penanganan sampah di Kota Surabaya dilakukan dengan cara pengurugan (*landfilling*). Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), metode pengurugan sampah yang dapat diterapkan adalah *trench metode* dan *area metode*. Metode pengurugan ini akan berpengaruh terhadap banyaknya tanah urug yang akan digunakan dalam pengelolaan *landfill*. Hal yang mempengaruhi pemilihan cara *landfilling* adalah topografi, kedalaman muka air dan sumber tanah penutup.

2.2.1 Metode *Trench* atau *Ditch*

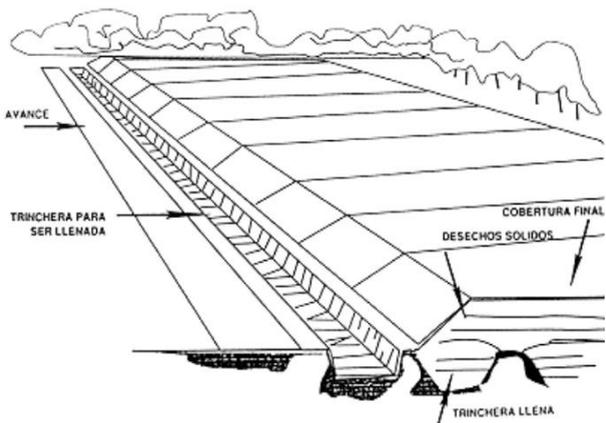
Metode *trench* dapat diterapkan pada tanah yang datar. Perlakuan utama adalah dilakukan penggalian tanah secara berkala untuk membuat parit sedalam dua sampai 3 meter. Selanjutnya tanah disimpan untuk dipakai sebagai bahan penutup. Setelah itu sampah dapat diletakan di dalam parit, disebarakan, dipadatkan dan ditutup dengan tanah. Dalam hal ini, dapat digunakan media tanah sesuai dengan kebutuhan. Untuk lebih jelasnya, gambaran tentang metode *trench* ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pengurugan Metode *Trench* atau *Ditch*
Sumber : Tchobanoglous *et al.* (1993)

2.2.2 Metode *Trench – Area*

Metode *Trench-Area* merupakan penggabungan antara metode *trench* dan metode *area*. Karena cara *landfilling* untuk kedua metode ini memiliki persamaan, maka kedua metode dapat dikombinasikan. Penggabungan metode ini ditujukan agar pemanfaatan tanah dan bahan penutup yang baik serta meningkatkan kinerja operasi. Untuk penggambaran yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pengurangan Metode Campuran
Sumber : Tchobanoglous et al., (1993)

2.3 KARAKTERISTIK SAMPAH TPA TERDEGRADASI

Sampah yang telah ditimbun dalam waktu yang lama akan mengalami degradasi. Namun pada lokasi TPA yang saat ini beroperasi, ditemukan sampah yang sudah terdegradasi maupun yang belum terdegradasi. Fenomena ini terjadi akibat banyaknya jenis sampah yang masuk ke TPA tanpa adanya pemilahan sehingga sampah yang sukar terdegradasi dapat hancur dengan waktu yang lebih lama. Sampah kota yang sukar terdegradasi didominasi oleh sampah plastik dan karet.

2.3.1 Karakteristik Fisik Sampah Terdegradasi

Melihat kondisi jenis sampah yang ada di TPA, maka sampah yang terdegradasi akan tercampur dengan sampah yang belum terdegradasi sempurna. Sampah yang telah terdegradasi sempurna memiliki tekstur remah yang halus seperti tanah dan berwarna coklat kehitaman. Ciri lain yang menunjukkan sampah telah terdegradasi sempurna adalah tidak ditemukannya bau menyengat akibat proses degradasi yang telah berakhir. Semakin tua usia sampah terdegradasi semakin baik kondisi fisiknya mendekati karakteristik fisik tanah (Silas *et al.*, 2014). Dari penjabaran yang telah diberikan, dapat diketahui bahwa tanah TPA yang terdegradasi memiliki tekstur seperti tanah bercampur dengan sampah plastik yang belum terdegradasi sempurna. Semakin lama usia sampah, semakin banyak bagian sampah terdegradasi, maka semakin sedikit campuran sampah plastik yang ada didalamnya.

Hasil pengujian *Standar Penetration Test* (SPT) pada lahan TPA memperlihatkan bahwa semakin dalam pengambilan sampel, semakin tinggi nilai SPTnya. Nilai SPT yang tinggi menunjukkan kekerasan sampah terdegradasi yang berbanding lurus dengan usia kompos (Rokhman dan Artiani, 2015). Analisis permeabilitas tanah terhadap sampah yang sudah terdegradasi menunjukkan permeabilitas berkisar di antara 9×10^{-4} cm/detik sampai dengan 1×10^{-3} cm/detik. Penelitian ini menunjukkan bahwa sampah terdegradasi memiliki permeabilitas yang mempunyai kelolosan air yang tidak terlalu tinggi. Tanah kondisi ini akan sangat sulit meresapkan air, sehingga rawan terjadi genangan pada saat hujan turun (Silas *et al.*, 2014). Sampah terdegradasi akan menahan air hujan yang masuk dan menurunkan *leachate* yang terbentuk, sehingga pencemaran dapat dihindarkan.

Nilai porositas tanah TPA terdegradasi biasanya menunjukkan angka yang tinggi sehingga sangat baik digunakan sebagai *biocover* karena dapat menahan gas dalam media lebih lama. Keadaan ini terjadi akibat adanya mikroorganisme yang banyak terkandung pada tanah juga turut serta menahan gas pada tanah (Abichou *et al.*, 2009). Keadaan dengan porositas tinggi juga

sangat baik untuk distribusi fase cair dan gas di dalam tanah sehingga akan membawa keuntungan pada *landfill* karena mempercepat proses degradasi gas metan. Selain itu nilai kelembaban (*moisture content*) juga berpengaruh terhadap tumbuh kembang bakteri. Dengan nilai kelembaban yang kondusif, bakteri dapat bertahan hidup dan mendegradasi gas metan dengan baik (Kurniasari *et al.*, 2013) sehingga distribusi nutrisi terlarut dan gas (oksigen dan gas metan) akan dimanfaatkan oleh bakteri indigen untuk melakukan proses degradasi (Kurniasari *et al.*, 2014).

Tekstur sampah terdegradasi lebih halus namun kekuatan lekat tanah yang dimiliki lebih kuat bila dibanding dengan tanah pada umumnya. Disamping itu sampah terdegradasi mengandung banyak nutrisi yang baik bagi pertumbuhan mikroorganisme. Kandungan nutrisi dan bakteri yang ada pada sampah terdegradasi mampu membantu proses pendegradasian gas pencemar lebih baik. Tekstur tanah yang lebih halus ini disebabkan karena banyaknya jenis organik yang telah terdegradasi selama bertahun-tahun (Lee *et al.*, 2009). Media penutup *landfill* haruslah kuat dan mudah dimampatkan. Pemampatan tanah dengan tekstur halus akan lebih mudah dibandingkan dengan tekstur kasar atau berbatu (Albanna *et al.*, 2010). Oleh karena struktur tanah yang kuat dengan tekstur yang baik, maka sampah terdegradasi sangat baik digunakan sebagai media penutup TPA.

2.3.2 Karakteristik Kimia Sampah Terdegradasi

Pada kesempatan penelitian dilakukan analisis *proximate* dan analisis *ultimate* seperti pada sub bab di bawah ini:

- a. Analisis *Proxymate*. Analisis ini akan digunakan untuk menentukan besar presentase kelembaban, kandungan *volatile* dan kandungan arang atau *fixed carbon* (Thipkhunthod *et. al.*, 2005). Data analisis secara tipikal untuk beberapa tipe sampah dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data Analisis *Proximate* untuk Beberapa Tipe Sampah

Jenis Sampah	Analisa <i>Proximate</i> (% berat)			
	Kelembaban	<i>Volatile Matter</i>	<i>Fixed Carbon</i>	Tidak Terbakar
Sampah makanan (campuran)	110	21.4	3.6	5
Sampah kertas (campuran)	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. Analisis *Ultimate*.

Analisis ini meliputi besar presentase kandungan karbon (C), hydrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S) dan abu (Thipkhunthod *et. al.*, 2005). Hasil dari analisis akan digunakan untuk mengidentifikasi komposisi kimia dari bahan organik dalam sampah. Selain itu, dapat juga ditentukan campuran sampah yang tepat sehingga didapatkan rasio C/N yang sesuai dalam proses konversi biologis. Data analisis *ultimate* pada sampah dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Data Analisis *Ultimate* pada Sampah

Jenis Sampah	Analisa <i>Ultimate</i> (% berat)					
	C	H	O	N	S	Ash
Sampah makanan (campuran)	48	6.4	37.6	2.6	0.4	5
Sampah kertas (campuran)	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)

2.3.3 Karakteristik Biologis Sampah Terdegradasi

Pada dasarnya, karakteristik biologi sampah merupakan komponen yang menyusun bahan organik sampah selain plastik, kulit dan karet. Karakteristik sampah dapat dilihat sebagai berikut (Tchobanoglous *et al.*, 1993):

- a. Unsur yang mudah larut dalam air seperti gula, karbohidrat, asam amino dan asam organik lain.
- b. Hemiselulosa, yang merupakan produk kondensasi dari karbon yang berantai lima dan enam.
- c. Selulosa, yang 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 diuraikan oleh bakteri atau mikroorganisme.
- f. Lignoselulosa, kombinasi antara lignin dan selulosa.
- g. Protein yang terbentuk dari rantai asam amino.

2.3.4 Mikroorganisme pada Sampah Terdegradasi

Tanah TPA (sampah terdegradasi) sangat baik dalam menurunkan kadar gas metan di udara. Hal ini dapat terjadi karena adanya bakteri metanotrofik yang mampu mengoksidasi gas metan melalui metabolit antara berupa metanol. Ditemukan lima bakteri yang hidup dalam sampah terdegradasi dengan standar keyakinan lebih dari 95%. Jenis bakteri yang ditemukan adalah *Methyloversatilis Universalis*, *Uncultured Bacterium Clone EDW07B001*, *Hyphomicrobium Vulgare*, *Uncultured Bacterium Clone NCD938F06C1*, dan *Methylobacteriom Lusitanum*. Selain itu ditemukan pula *Streptomyces Phaeochromogenes* dan jenis *Nocardioides Thermolilacinus* (Kurniasari *et al.*, 2013).

Methyloversatilis Universalis memiliki kemampuan untuk mereduksi beberapa jenis metanol, sebagian selulosa dan juga metana. Mikroorganisme jenis ini terbilang unik dan belum banyak diketahui proses metabolisme sel didalamnya. Hingga saat ini, jenis *Methyloversatilis Universalis* masih diusulkan untuk

masuk dalam famili *Rhodocyclaceae* karena keunikannya dalam merubah komposisi kimia unsur metanol dan metana tanpa menggunakan unsur hasil proses degradasi untuk kepentingan metabolisme sel tubuhnya. Dengan demikian, hasil degradasi yang dilakukan akan dibuang di lingkungan sekitar bakteri ini hidup (Kalyuzhnaya *et al.*, 2006).

Uncultured Bacterium Clone merupakan sekumpulan bakteri yang tumbuh baik pada habitat buatan yang terisolasi. Bakteri jenis ini banyak ditemukan pada tanah timbunan yang tidak diolah kembali seperti timbunan sampah pada *landfill*. Jenis *Uncultured Bacterium Clone* mampu mengubah susunan kimia pada padatan, gas, maupun cairan (Garza dan Dutilh, 2015). Kondisi ini menguntungkan, karena bakteri akan membantu memecah gas metana menjadi molekul sederhana yang lebih baik bila dilepaskan ke lingkungan.

Streptomyces Phaeochromogenes merupakan jenis mikroorganisme yang mampu mereplikasi protein yang dimiliki menjadi sumber tenaga dalam metabolisme tubuhnya. Jenis bakteri ini membutuhkan struktural Karbon dan jenis hidrogen berupa gas untuk mensintesis protein menjadi bentuk lain yang dibutuhkan bagi metabolisme sel tubuh. Proses sintesis yang dilakukan mikroorganisme dengan jenis *Streptomyces Phaeochromogenes* ini sangat membantu dalam proses pendegradasian gas metana (Servin-Gonzales *et al.*, 1995).

Jenis *Nocardioides Thermolilacinus* mampu membantu memecah zat organik dengan rantai karbon panjang dan rapat menjadi zat yang lebih sederhana. Jenis mikroorganisme ini akan sangat membantu penguraian sampah yang tertimbun pada *landfill*. Semakin banyak mikroorganisme jenis ini pada tanah, semakin baik dalam proses pendegradasian zat organik menjadi molekul yang mudah diserap oleh tumbuh-tumbuhan (Reddy *et al.*, 2011).

2.4 REAKSI YANG TERJADI DI LANDFILL

Penimbunan sampah di *landfill* selama bertahun-tahun akan menimbulkan banyak reaksi baik secara fisik, kimia maupun biologis. Reaksi yang terjadi tersebut akan menimbulkan dampak yang berpengaruh negatif terhadap lingkungannya.

a. Reaksi fisik.

Suatu perpindahan *leachate* dan gas merupakan fenomena fisik yang terjadi pada *landfill*. Perpindahan gas ke lingkungan sekitar dapat terjadi akibat rusak atau terganggunya lapisan penutup. Kerusakan pada lapisan penutup dapat menyebabkan peningkatan daya kapiler air dalam sampah sehingga produksi gas dapat meningkat. Perpindahan *leachate* ke tanah akan mencemari tanah dan air tanah. (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

b. Reaksi kimia.

Reaksi kimia yang terjadi di *landfill* meliputi penguraian, suspensi, dan produk konversi biologis yang melalui:

- Perkolasi cairan.
- Evaporasi dan penguapan senyawa kimia menjadi gas.
- Penyerapan *volatile* dan semi *volatile* senyawa organik.
- Dekomposisi senyawa organik.
- Reaksi redoks pada logam dan kelarutan garam logam.

Reaksi kimia lain juga terbentuk dengan melibatkan senyawa organik tertentu dan tanah penutup yang tepat. Akibat dari reaksi kimia yang terjadi adalah berubahnya struktur permeabilitas dari lapisan penutup (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

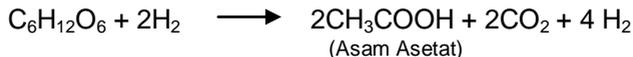
c. Reaksi Biologis.

Reaksi biologis paling utama pada *landfill* adalah terbentuknya gas dan *leachate*. Reaksi biologis terjadi dalam dua kondisi yang berbeda yaitu secara aerobik dan anaerobik. Pada tahap pertama terjadi reaksi aerobik yang membentuk gas CO₂. Setelah oksigen telah habis digunakan dalam reaksi aerobik, maka akan terjadi kondisi kekurangan oksigen (anoxic) sehingga reaksi kemudian berjalan secara anaerobik. Pada reaksi anaerobic dihasilkan CO₂, CH₄, NH₃ dan H₂S (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

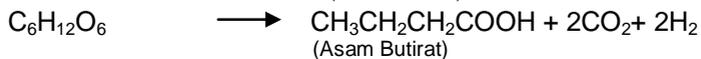
2.5 PROSES DEKOMPOSISI ANAEROBIK SAMPAH

Dekomposisi sampah secara anaerobik merupakan proses reaksi kimia pada bahan organik melalui fermentasi anaerob dan aktivitas dari bakteri pengurai yang menghasilkan metan, CO₂, hidrogen, nitrogen, H₂S, dan gas-gas lain. Kecepatan penguraian sampah secara anaerobik berjalan lebih lambat dibandingkan dengan aerobik dikarenakan saat kondisi aerobik didapati O₂ (aseptor) yang memecah molekul organik (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Proses dekomposisi berlangsung secara anaerobik dengan melalui tiga tahapan, yaitu (Irawan, 2014):

1. Tahap Hidrolisis.
Akan terjadi penguraian terhadap senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa organik yang diurai berupa protein, lemak, dan karbohidrat. Protein di hidrolisis oleh enzim protease dan peptidase, sedangkan lemak dihidrolisis oleh enzim lipase yang dihasilkan dari hasil ekskresi bakteri *Clostridium*.
2. Tahap Asidogenesis dan Asetogenesis.
Pada tahap ini akan terjadi penguraian bahan yang telah melalui proses hidrolisis menjadi bahan organik yang lebih sederhana lagi seperti asam propionat, asam format, etanol, karbondioksida dan hidrogen. Bakteri fakultatif anaerob berperan untuk degradasi tahap asidogenesis. Terjadi transisi fase aerobik dengan anaerobik yang menyebabkan penurunan pH sehingga logam berat menjadi terlarut. Mekanisme reaksi yang terjadi adalah:



(Asam Asetat)



(Asam Butirat)



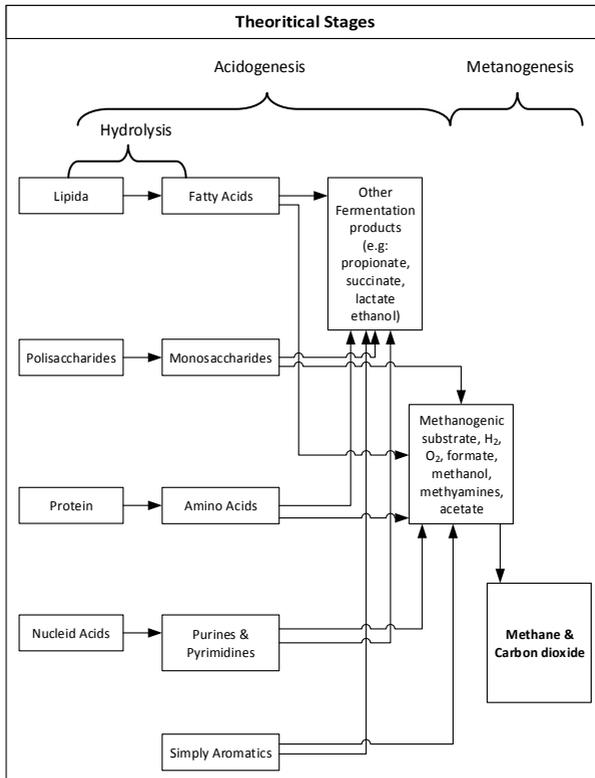
(Asam Propionat)

Pada tahap asetogenesis akan terjadi pembentukan senyawa asetat, karbondioksida dan hidrogen. Pada proses ini, bakteri yang sangat berperan adalah bakteri asetogen yang akan melakukan degradasi.

3. Tahap Methanogenesis.

Methanogenesis merupakan tahap paling penting dalam proses degradasi anaerobik. Pada tahapan ini, karbondioksida akan direduksi menjadi gas metan dan air, dan asam asetat akan direduksi menjadi karbondioksida dan gas metan. Bakteri yang berperan adalah bakteri metanogen yang bersifat mesofilik sehingga dapat bertahan hidup pada suhu 20⁰C – 40⁰C.

Dekomposisi sampah secara anaerobik dapat dilihat pada Gambar 2.4.

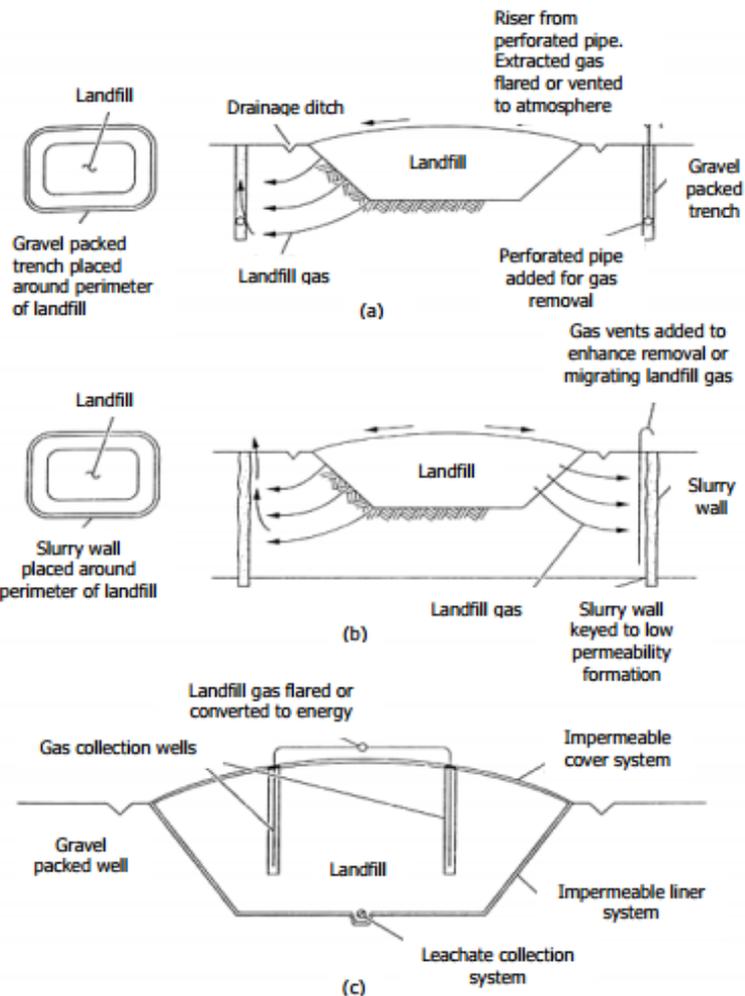


Gambar 2.4 Degradasi Sampah Secara Anaerobik
Sumber : Irawan (2014)

2.6 PEMBENTUKAN GAS PADA LANDFILL

Pengurangan yang dilakukan pada area *landfill* dioperasikan lapis per lapis. Operasi seperti ini memungkinkan terjadinya proses anaerob. Proses anaerob ini menunjukkan suatu kondisi ketiadaan oksigen pada tumpukan sampah yang di urug (Kurniasari *et al.*, 2013). Gas dari proses anaerobik adalah gas metan (CH_4), karbon dioksida (CO_2), karbon monoksida (CO), amonia (NH_3) dan sejumlah kecil *traces gas* yang termasuk dalam gas rumah kaca (GRK). Gas rumah kaca akan menyebabkan terjadinya efek rumah kaca yang berpengaruh pada pemanasan global (*Global Warming*). *Global Warming Potensial* (GWP) merupakan kemampuan gas memerangkap panas untuk tetap tertahan di bumi (Menard *et al.*, 2009). Kemampuan gas metan untuk memerangkap panas 21 kali lebih besar dari gas CO_2 yang berarti memiliki kontribusi besar dalam pemanasan global (Suprihatin *et al.*, 2007). Jika konsentrasi gas metan di udara mencapai 5-15% maka kondisi udara sangat mengkhawatirkan karena dapat mengakibatkan ledakan (Lestari *et al.*, 2013).

Landfill gases dihasilkan dari proses dekomposisi sampah yang tertimbun dalam *landfill* karena adanya aktivitas mikroorganisme. Gas metan yang dihasilkan jika mengalami kontak dengan udara lebih dari 5% akan menimbulkan ledakan, sehingga diperlukan kontrol dan monitoring terhadap *landfill gas*. Kontrol gas secara umum dapat dilakukan dengan pembakaran gas. Terutama untuk gas metan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang sangat potensial (Kumar *et al.*, 2011). Bila pengolahan gas metan menjadi sumber energi tidak memungkinkan untuk dilakukan, maka dapat dilakukan alternatif lain. Alternatif lain yang dilakukan harus sesuai dengan kaidah yang ada serta membutuhkan dana yang lebih minim. Alternatif lain yang digunakan merupakan mitigasi gas metan dalam upaya perbaikan lingkungan. Mitigasi gas metan merupakan suatu kegiatan pengurangan gas metan yang akan dilepaskan secara bebas ke udara (Herawati, 2012). Secara umum sistem kontrol gas dapat dibedakan secara aktif dan pasif dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Passive facilities used for the control of landfill gas : (a) interceptor trench filled with gravel and perforated pipe; (b) perimeter barrier trench, and (c) used of impermeable liner in landfill. Note interceptor barrier perimeter trenches are used to control the off-site migration of landfill gas from existing unlined landfills.

Gambar 2.5 Sistem Kontrol Gas pada Landfill
Sumber : Herawati (2012)

Sesuai dengan UU nomor 18 tahun 2008, TPA dengan sistem *open dumping* harus segera ditutup untuk mengendalikan gas metan. Pengadaan undang-undang menunjukkan bahwa pemerintah memberikan fokus pada pencemaran udara oleh gas metan melalui TPA. Upaya pengendalian emisi gas metan dapat ditempuh dengan beberapa cara. Cara yang dapat digunakan diantaranya adalah dengan pengendalian di sumber. Pengendalian di sumber dapat dilakukan dengan melakukan pengurangan sampah organik yang akan dibawa masuk kedalam TPA. Cara kedua yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan *recover* gas. *Recover* gas dapat dilakukan secara aktif dengan memanfaatkannya sebagai energi atau dengan pembakaran, juga secara pasif yaitu dengan melakukan *venting*. Cara ketiga adalah dengan melakukan modifikasi terhadap tanah penutup TPA agar dapat terjadi oksidasi gas metan secara alamiah melalui aktivitas bakteri. Cara selanjutnya adalah dengan melakukan aerasi pada TPA agar tidak tercipta kondisi anaerobik yang menciptakan gas metan (Purwanta *et al.*, 2012).

Salah satu alternatif pengelolaan gas metan yang efektif pada *landfill* adalah dengan memodifikasi sistem penutupan. Tanah penutup tertentu akan menjadi media biofiltrasi melalui proses oksidasi gas metan. Modifikasi tanah penutup TPA dengan menggunakan sampah terdegradasi akan memakan dana yang lebih kecil dibanding dengan tiga alternatif lainnya.

2.7 PEMBENTUKAN LEACHATE PADA LANDFILL

Sampah yang dibuang ke *landfill* mengalami beberapa perubahan fisik, kimia dan biologis secara simultan yang diantaranya menghasilkan cairan yang disebut *leachate*. *Leachate* bisa merupakan cairan yang telah melewati sampah yang telah mengekstraksi material terlarut/tersuspensi dari sampah tersebut (Tchobanoglous *et al.*, 1993). *Leachate* diproduksi ketika cairan melakukan kontak dengan sampah yang terutama berasal dari buangan domestik, dimana hal tersebut tidak dapat dihindari pada lahan pembuangan akhir. *Leachate* dihasilkan dari infiltrasi air hujan ke dalam tumpukan sampah di TPA dan dari cairan

yang terdapat di dalam sampah itu sendiri (Friadi *et al.*, 2007). Melihat kondisi tersebut, maka *Leachate* dapat di definisikan sebagai cairan hasil dekomposisi sampah yang dipengaruhi oleh curah hujan dan perkolasi air tanah (Arasan dan Yetimoglu, 2008). Karakteristik kimia *leachate* dipengaruhi oleh iklim, presipitasi, karakteristik sampah dan umur *landfill*. Konsentrasi kimia lindi pada musim panas dihasilkan dua kali lebih besar dibandingkan saat musim penghujan (Kawai *et al.*, 2012). Terjadinya perkolasi air hujan dalam *landfill* akan menguraikan unsur-unsur yang ada sehingga kepekatan konsentrasi *leachate* akan menurun.

Melihat kondisi pada umumnya, kandungan *leachate* terbagi dalam kandungan beberapa kelompok senyawa organik karbon, senyawa nitrogen, senyawa organik xenobiotik, anion dan beberapa logam (Lee *et al.*, 2010). Nilai konsentrasi *leachate* bergantung pada dekomposisi sampah yang meliputi reaksi fisik, kimia dan biologi. Pada umumnya, *leachate* yang dihasilkan di *landfill* memiliki nilai BOD yang tinggi, selain itu juga didapati nilai COD, TOC, *total ammonical nitrogen* ($\text{NH}_3\text{-N}$), anion-anion seperti Cl^- dan SO_4^{2-} , kation-kation seperti Na^+ dan K^+ dan juga logam berat (Cheng dan Guo, 2014). Parameter lain yang menggambarkan karakteristik *leachate* adalah rasio BOD/COD, pH, *suspended solid* (SS) dan *total Kjeldahl nitrogen* (TKN). Adanya ion dalam *leachate* juga dapat meningkatkan *total dissolved solid* (TDS) pada lindi (Renou *et al.*, 2008).

Perubahan tingkat biodegradasi pada *leachate* dapat diprediksi atau dilihat melalui rasio BOD_5/COD . Umumnya, rasio BOD_5/COD yang terdapat dalam *leachate* adalah berkisar antara 0,4 – 0,6. Rentang rasio tersebut menyatakan bahwa *leachate* memiliki sifat *biodegradable* (Renou *et al.*, 2008).

Apabila tidak terkontrol, *landfill* yang dipenuhi air *leachate* dapat mencemari air bawah tanah dan air permukaan. Berdasarkan penjelasan yang telah dijabarkan, *leachate* yang terbentuk dipengaruhi oleh tingkat kepadatan tanah penutupnya. Semakin padat tanah penutup, semakin sedikit *leachate* yang dihasilkan karena air hujan tidak menembus masuk (Nuriana *et al.*, 2016).

2.8 LANDFILLING TPA DENGAN BIOCOVER

Pengurugan atau *landfilling* merupakan kegiatan yang pasti ada pada TPA. Kegiatan ini biasanya membutuhkan tanah untuk diletakan berlapis menutup tumpukan sampah. Melihat potensi pencemaran akibat aktivitas *landfilling* maka harus digunakan tanah yang sesuai untuk kegiatan ini. Potensi permasalahan utama yang terjadi adalah bahwa *landfilling* menyebabkan kondisi sampah menjadi anaerob dan akan membentuk gas metan yang mencemari udara. Cara mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memerankan mikroorganisme untuk mendegradasi gas metan agar tidak mencemari udara secara langsung. Sampah terdegradasi yang kaya akan nutrisi yang akan mensuplai kebutuhan makanan bakteri pengurai gas metan sehingga sangat berguna bila digunakan sebagai media *biocover* pada kasus ini (Kurniasari *et al.*, 2014).

Potensi pencemaran selanjutnya adalah terbentuknya *leachate* yang berlebih akibat nilai porositas tanah serta faktor pemadatan yang rendah (Ali, 2012). Porositas agregat adalah besarnya persentase ruang - ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada agregat. Akibat dari porositas ini maka air akan meresap masuk kedalam agregat, Penyerapan air oleh agregat sukar untuk dihilangkan walaupun melalui proses pengeringan (Kaseke *et al.*, 2013). Porositas tanah dipengaruhi oleh kandungan bahan organik, struktur tanah, dan tekstur tanah. Porositas tanah akan tinggi jika kandungan bahan organik tinggi. Tanah dengan struktur *granuler/remah*, mempunyai porositas yang tinggi daripada tanah dengan struktur *massive* atau pejal (Zulkarnain *et al.*, 2013). Sampah terdegradasi memiliki karakter halus (*granuler*) sehingga nilai porositasnya tinggi. Tanah dengan porositas tinggi akan mudah dimampatkan dan menyimpan air dalam agregatnya lebih baik (Albanna, 2010). Hal ini sangat mendukung sampah terdegradasi untuk dijadikan *biocover* karena akan mengurangi pembentukan *leachate* pada TPA.

Sebelum menggunakan sampah terdegradasi TPA untuk dijadikan *biocover* maka perlu dilakukan uji kelayakan terlebih dahulu. Uji kelayakan yang dilakukan adalah dengan menguji

karakter fisik dan kimia tanah TPA Keputih dan TPA Benowo Surabaya. Untuk detail tatacara pengujian akan dijelaskan pada bab 3 (tiga). Bila sampah terdegradasi yang akan digunakan sebagai *biocover* telah memenuhi standar yang dijelaskan pada penelitian terdahulu, barulah tahap penelitian dilakukan. Bila karakteristik dasar sampah terdegradasi tidak memenuhi standar, maka harus dicari alternatif tanah di lokasi lain untuk digunakan sebagai *biocover* (Kristanto *et al.*, 2014).

Penjelasan menunjukkan bahwa *biocover* merupakan alternatif terbaik untuk mengatasi permasalahan di TPA akibat pelepasan gas metan berlebih sehingga mencemari udara. Selain karena keberadaan tanah penutup yang mudah dicari dari sampah TPA terdegradasi, alternatif ini memberikan tawaran harga yang lebih murah. Alternatif dengan harga yang lebih murah dan berbagai keuntungan yang didapat membuat sampah terdegradasi menjadi pilihan terbaik sebagai *biocover*.

2.9 PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian terdahulu merupakan sumber-sumber referensi yang dapat digunakan untuk membantu penelitian. Telah ada banyak penelitian terutama penelitian yang terjadi diluar negeri yang menunjukkan pengaruh ketebalan tanah penutup terhadap laju pembentukan gas metan dan *leachate*. Beberapa penelitian yang menunjukkan pengaruh ketebalan *biocover* terhadap laju pembentukan gas metan dan *leachate* dapat dilihat secara jelas pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Sumber	Hasil Penelitian
1	Kaseke <i>et al.</i> , 2013	Sampah terdegradasi memiliki porositas agregat yang tinggi sehingga akan menahan air lebih lama dibandingkan jenis tanah lain yang berporositas rendah. Keadaan ini akan menghambat pembentukan <i>leachate</i> di TPA yang terbentuk akibat air hujan.

No	Sumber	Hasil Penelitian
2	Kristanto <i>et al.</i> , 2014	Sampah terdegradasi memiliki karakteristik fisik yang baik untuk digunakan sebagai tanah penutup. Disamping itu, sampah terdegradasi sangat baik dalam mengurangi emisi gas metan karena adanya mikroorganismenya yang mengurai gas metan yang tumbuh dengan sangat baik di lokasi TPA.
3	Kurniasari <i>et al.</i> , 2012	Sampah terdegradasi kaya akan bakteri pengurai gas metan. Tanah yang kaya akan bakteri pengurai gas metan ini akan sangat baik bila digunakan sebagai tanah penutup harian di TPA.
4	Purwanta <i>et al.</i> , 2012	Recovery gas sangat dapat dilakukan dengan memanfaatkan aktivitas bakteri metanogenesis yang secara alami terdapat pada tumpukan sampah yang berada di TPA sehingga sampah TPA yang telah terdegradasi dapat dijadikan alternatif tanah penutup.
5	Abichou <i>et al.</i> , 2009	Penggunaan sampah terdegradasi sebagai tanah penutup pada <i>landfill</i> mampu mengurangi emisi gas metan. Setiap sampah yang sudah tertimbun di <i>landfill</i> akan menjadi media hidup bakteri metanogen yang dapat menguraikan gas metan.
6	Lee <i>et al.</i> , 2009	Sampah lama TPA dapat digunakan sebagai tanah penutup karena mengandung banyak bakteri yang menguntungkan dalam penguraian gas metan menjadi gas yang lebih bisa diterima oleh lingkungan.

2.10 GAMBARAN UMUM TPA BENOWO SURABAYA

Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Benowo berbatasan langsung dengan Kabupaten Gresik. TPA Benowo berada di Kelurahan Romokalisari, Surabaya Barat, dengan luas lahan TPA sebesar 38 Ha. TPA Benowo mulai beroperasi pada tahun 2001, dan hingga sekarang masih melayani pembuangan sampah untuk area Surabaya (Febrianto, 2015).

Dengan melihat kondisi pengelolaan TPA Benowo terdahulu, banyak sekali kendala yang dihadapi dalam pengadaan TPA Benowo. Kendala terbesar adalah tercemarnya air tanah warga oleh *leachate* dan bau sampah yang mengganggu penciuman. Kendala ini dituangkan dalam banyaknya berita yang menggambarkan keluhan warga atas aktivitas TPA. Seperti ditulis oleh Eka pada halaman Jawapos.com pada 23 Mei 2010, warga sekitar TPA mengeluhkan tentang tambak mereka yang tercemar *leachate*. Keluhan yang disampaikan warga tentunya beralasan. Tambak ikan yang menjadi mata pencaharian mereka menjadi kotor dan bau sehingga ikan yang mereka pelihara tidak layak konsumsi. Sampah yang menumpuk semakin tinggi menyebabkan aroma yang tidak sedap dan sangat mengganggu penciuman. Aroma yang tidak sedap akan mengganggu kesehatan warga sehingga masalah ini harus diatasi dengan lebih baik dengan melakukan rekayasa teknologi (Muhiddin, 2016).

Kini, TPA Benowo telah dikelola oleh pihak swasta, yaitu PT Sumber Organik. Pengelolaan berbasis kerjasama dengan swasta ditujukan untuk melakukan perbaikan terhadap pengelolaan sampah yang dilakukan di TPA. Jika sebelumnya hanya dilakukan *open dumping* dalam pengelolaan sampah, kini sampah yang ditimbun telah digunakan sebagai sumber listrik dan kompos yang menguntungkan secara finansial. SOP yang ketat juga diterapkan oleh PT. Sumber Organik dalam mengelola TPA Benowo untuk memperkecil tingkat pencemaran yang terjadi (PTSO, 2016).

Bila dibandingkan dengan bekas TPA Keputih, tentunya sampah yang ada di TPA Benowo belum terdegradasi sebanyak sampah yang ada di TPA Keputih. Umur sampah TPA keputih telah lebih dari sepuluh tahun sehingga telah banyak terdegradasi. Sedangkan untuk sampah TPA Benowo yang baru beroperasi beberapa tahun, maka sampah yang terdegradasi pun relatif lebih kecil. Sampah yang masuk ke TPA Benowo tidak memiliki karakter yang jauh berbeda dengan TPA Keputih Surabaya. Kondisi yang tidak berbeda ini diakibatkan sumber sampah yang sama seperti TPA Keputih Surabaya. Sampah organik mendominasi kandungan sampah yang ada di TPA Benowo. Adanya sampah organik dalam jumlah yang tinggi akan mempercepat degradasi pada sampah. Hal ini cukup mendukung dilakukannya penelitian untuk digunakannya tanah TPA Benowo sebagai *biocover*. Gambar 2.6 menunjukkan gambar lokasi TPA Benowo.



Gambar 2.6 Lokasi TPA Benowo Surabaya
Sumber : Google Maps

2.11 GAMBARAN UMUM BEKAS TPA KEPUTIH SURABAYA

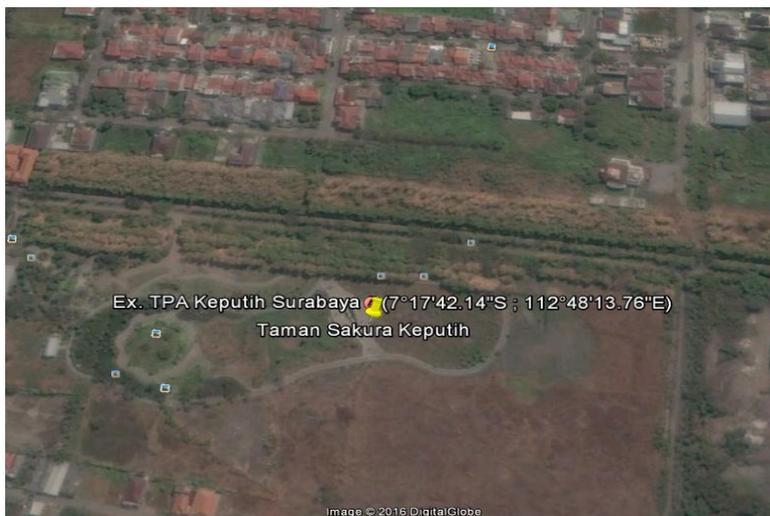
Tempat Pemrosesan Akhir Sampah Keputih (dulu bernama Tempat Pembuangan Akhir) berlokasi di Kelurahan Keputih, Kecamatan Sukolilo, Surabaya bagian timur. Denah Bekas TPA Keputih Surabaya dapat dilihat pada Gambar 2.7. TPA Keputih Surabaya mulai difungsikan pada tahun 1970. Setelah digunakan selama 31 tahun, TPA Keputih Surabaya akhirnya ditutup pada tahun 2001 (Silas *et al.*, 2014). Ditutupnya TPA Keputih Surabaya saat itu dikarenakan adanya sengketa antara warga sekitar TPA dengan Pemerintah Kota Surabaya. Sampah yang dihasilkan setiap harinya lebih dari delapan ribu meter kubik, dan dengan sistem *open dumping* permasalahan lingkungan banyak ditimbulkan. Kandungan sampah sebagian besar adalah organik yang berasal dari sampah rumah tangga menjadi pemicu terjadinya masalah utama. Permasalahan utama yang dikeluhkan warga adalah bau sampah yang menyengat serta banyaknya vektor lalat yang sangat mengganggu (Siti, 2013).

Setelah dilakukan penutupan TPA Keputih Surabaya, lahan yang ditinggalkan tidak dapat digunakan untuk kepentingan lain secara langsung. Lahan yang tidak dapat dimanfaatkan secara langsung dikarenakan tingginya kandungan logam berat. Kandungan logam cukup tinggi dikarenakan sistem *landfill* yang *open dumping* sehingga sampah Kota Surabaya masuk ke TPA tanpa *screening*. Sistem yang seperti ini berdampak pada kandungan sampah yang tidak dapat dibatasi ragamnya (Triastuti, 2012). Melihat hal yang demikian, tentunya timbul kekhawatiran bahwa tanah bekas TPA Keputih tidak dapat digunakan sebagai *biocover*.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Lee *et al.* (2009), diperlihatkan bahwa kandungan logam berat memang berpengaruh terhadap efektivitas *biocover*. Pengaruh yang terlihat perbedaannya adalah saat pengujian penambahan logam berat Cu dari nol hingga 250 miligram per kilogram sampah. Untuk penambahan logam berat lebih dari 250 miligram per kilogram sampah tidak ada perubahan pengaruh dibanding penambahan sebelumnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa tidak

ada pengaruh yang signifikan atas keberadaan logam berat terhadap efektivitas *biocover*.

Secara teoritis, sampah bekas TPA Keputih Surabaya yang telah ditutup lebih dari 15 tahun telah menjadi kompos matang. Hal ini dapat terjadi karena sebagian besar komponen sampah adalah komponen organik yang mudah dikomposkan. Meskipun logam berat didapati dengan kandungan yang tinggi, namun berdasarkan penelitian kandungan logam berat tidak berpengaruh besar terhadap efektivitas *biocover*. Hal ini sangat mendukung digunakannya *sampah terdegradasi* bekas TPA Keputih Surabaya sebagai *biocover*.



Gambar 2.7 Lokasi Taman Sakura (eks TPA Keputih Surabaya)
Sumber : Google Maps

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3 METODE PENELITIAN

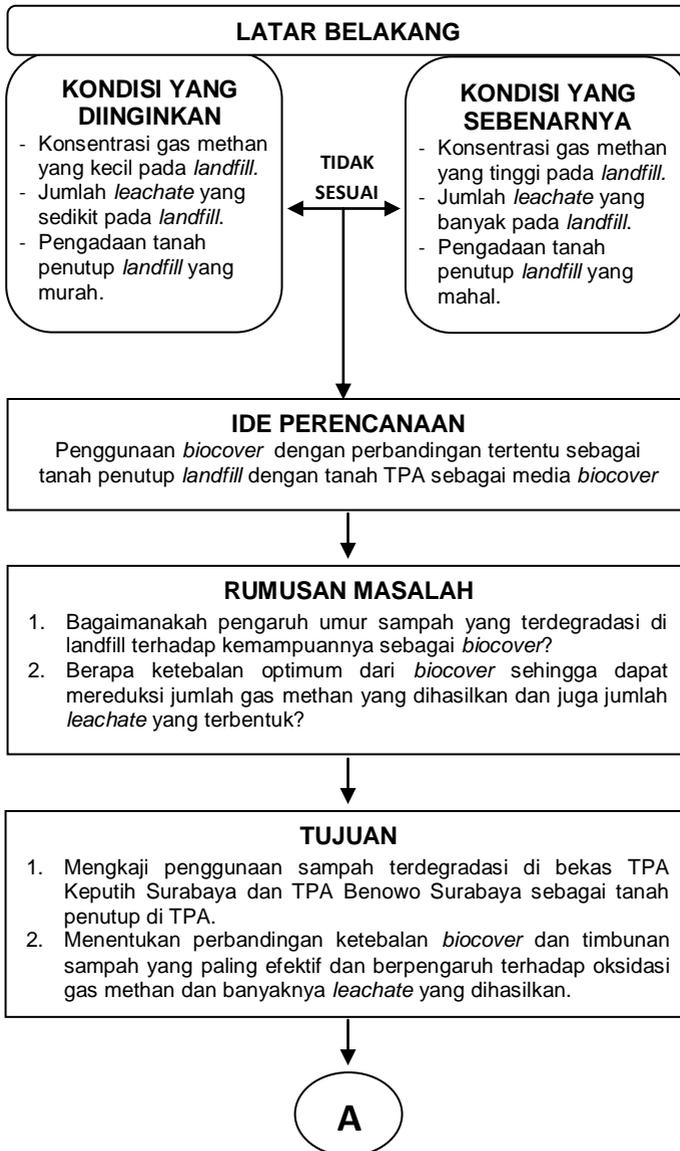
Penelitian yang dilakukan kali ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh ketebalan dan umur atau usia *biocover* terhadap laju pembentukan gas metan dan *leachate*. Hasil yang didapatkan dalam penelitian kali ini adalah kondisi optimum perbandingan sampah terdegradasi dengan sampah domestik.

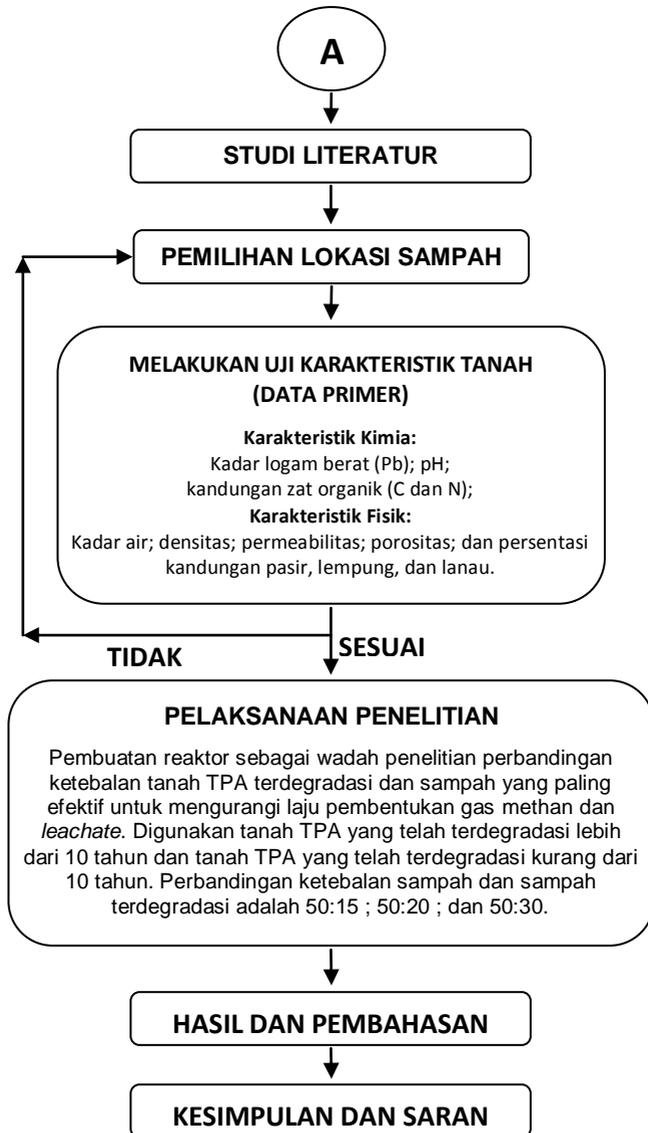
3.1 GAMBARAN UMUM PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental skala laboratorium. Pengamatan (penelitian) dilaksanakan di Workshop Penelitian dan Laboratorium Limbah Padat dan B3, Departemen Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. Sampel tanah penutup yang merupakan sampah terdegradasi diambil dari bekas TPA Keputih dan TPA Benowo Surabaya. Sampah kota yang digunakan sebagai sumber *leachate* dan gas metan adalah sampah pasar Keputran Surabaya.

3.2 KERANGKA PELAKSANAAN PENELITIAN

Kerangka pelaksanaan penelitian adalah gambaran yang merujuk pada rangkaian pelaksanaan penelitian secara sistematis. Kerangka penelitian akan menggambarkan secara utuh konsep penelitian yang akan dilakukan. Pelaksanaan penelitian dimulai dengan adanya permasalahan yang selanjutnya memunculkan ide penelitian yang ditujukan untuk mendapatkan hasil penelitian sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Studi literatur juga dilakukan guna mendukung pelaksanaan penelitian sebagai referensi utama dalam pelaksanaan penelitian. Gambar 3.1 akan menerangkan tentang kerangka penelitian.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3 TAHAPAN PELAKSANAAN PENELITIAN

Pada penelitian kali ini akan dilakukan 2 (dua) tahapan penelitian yaitu observasi dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan (observasi) dilakukan untuk mengetahui data komposisi dan karakteristik sampel. Penelitian utama adalah dengan melakukan pengamatan terhadap rangkaian reaktor dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh ketebalan dan umur *biocover* terhadap laju pembentukan gas metan dan *leachate* pada sampah. Penelitian pendahuluan akan memberikan data yang juga digunakan pada penelitian utama. Setiap penelitian yang dilakukan akan digunakan sebagai dasar analisis data yang akan digunakan sebagai pembahasan dan penarikan kesimpulan. Kesimpulan yang diberikan merupakan kesimpulan yang didasarkan pada kondisi eksisting penelitian dan kesesuaiannya dengan studi literatur yang dilakukan.

3.3.1 Ide Penelitian

Ide penelitian didapatkan setelah melihat adanya gap atau perbedaan antara kondisi eksisting di lapangan dengan kondisi ideal. Ide penelitian timbul dari kondisi sebenarnya dimana *landfill* menghasilkan gas metan dan *leachate* yang cukup tinggi. Menurut Wahyono (2001), gas metan dan *leachate* yang dihasilkan akan mencemari lingkungan. Melalui beberapa literatur yang dijabarkan pada bab sebelumnya, diketahui bahwa karakteristik tanah penutup *landfill* berpengaruh terhadap timbulan gas metan ataupun *leachate*. Tanah yang memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sesuai akan membantu pengurangan pembentukan *leachate* dan oksidasi gas metan. Hal ini tentunya akan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat diketahui ketebalan dan umur sampah terdegradasi yang paling optimum untuk digunakan sebagai *biocover*. Penggunaan *biocover* diharapkan mampu mengurangi laju pembentukan gas metan dan juga *leachate*.

3.3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan kajian literatur atau landasan-landasan teori yang bersifat ilmiah. Literatur yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini diantaranya *text book*, jurnal baik nasional maupun internasional, artikel, *website*, makalah, perundang-undangan, koran, dan lain sebagainya. Sumber yang digunakan harus sesuai dengan penelitian tentang pengaruh ketebalan tanah penutup terhadap laju pembentukan gas metan dan *leachate*. Jenis data yang dikumpulkan untuk digali informasinya antara lain:

- Proses pembentukan gas metan,
- Proses pembentukan *leachate*,
- Karakteristik tanah yang dapat mengoksidasi gas metan secara optimal,
- Karakteristik tanah yang dapat mengurangi laju pembentukan *leachate*,
- Penelitian terdahulu tentang penggunaan sampah terdegradasi sebagai media *biocover* atau tanah penutup *landfill*,
- Tujuan penggunaan *biocover*,
- Keuntungan dan kerugian penggunaan *biocover*,
- Proses oksidasi gas metan melalui media *biocover*,
- Tatacara penentuan lokasi pengambilan sampel tanah,
- Tatacara pengambilan sampel tanah untuk sampel tanah dalam,
- Profil TPA Keputih Surabaya,
- Kegunaan lahan bekas TPA Keputih Surabaya,
- Profil TPA Benowo Surabaya,
- Karakteristik kimia sampah terdegradasi TPA,
- Karakteristik fisik sampah terdegradasi TPA,
- Proses pengujian logam berat pada laboratorium,
- Proses pengujian karakteristik fisik tanah pada laboratorium,
- Proses pengujian kadar air dan total nitrogen pada laboatorium,
- dan lain-lain

3.3.3 Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan dalam penelitian kali ini adalah data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa data kondisi optimum suatu percobaan serta data yang menunjukkan parameter kelayakan tanah uji. Data primer didapatkan dari hasil pengambilan sampel dan uji laboratorium. Untuk metode pengambilan sampel dan pengujian parameter skala laboratorium akan dijabarkan pada bab 3 (tiga). Pengumpulan data akan membantu peneliti mengetahui kondisi sebenarnya tanah uji.

Data primer yang diambil akan dibagi menjadi 2 (dua) tahap, yaitu tahap observasi dan tahap penelitian. Tahap observasi merupakan suatu tahap dimana akan dilakukan pengamatan terhadap sampel tanah yang diambil. Pengamatan dilakukan dalam skala laboratorium. Pengamatan pada tahap ini ditujukan untuk mengetahui layak atau tidaknya tanah uji digunakan sebagai media *biocover*.

Kelayakan tanah uji didasarkan pada karakteristik fisik dan kimia tanah uji yang sesuai dengan penjabaran literatur. Karakter fisik material *biocover* sangat penting untuk diperhatikan. Pentingnya pengujian karakter fisik karena akan memberikan jaminan bahwa gas metan pada *landfill* dapat tereduksi oleh material *biocover*. Jaminan ini ditujukan agar gas tidak mencemari lingkungan secara bebas. Selain itu, diharapkan pula gas O₂ dapat terdifusi kedalam material, sehingga proses degradasi gas metan dapat berjalan dengan baik (Pedersen, 2010). Tanah uji yang layak digunakan sebagai media *biocover* harus memiliki nilai porositas yang tinggi serta kandungan air yang rendah. Keadaan ini dianggap akan menahan gas metan dalam media lebih lama (Abichou *et al.*, 2009). Selain itu, tanah uji juga diharapkan tidak mengandung banyak logam berat karena akan mempengaruhi oksidasi gas metan walaupun dalam skala kecil (Lee *et al.*, 2009). Pada tahap penelitian, data yang didapatkan adalah data kondisi perbandingan optimum ketebalan tanah *biocover* dan sampah.

Data yang dibutuhkan pada tahap observasi akan sangat mempengaruhi pemilihan lokasi sampah terdegradasi untuk dijadikan *biocover*. Data yang didapatkan akan digunakan sebagai tolak ukur dalam pengambilan keputusan digunakan atau tidaknya suatu lokasi TPA sebagai tanah uji. Oleh karena itu, pengambilan data skala laboratorium ini harus dilakukan dengan seksama dan teliti. Data pada tahap penelitian merupakan data final yang akan dilaporkan sebagai hasil penelitian peneliti. Data pada tahap penelitian akan tercantum padat dalam pembahasan utama penelitian. Adapun parameter yang akan diuji tercantum pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Parameter yang Diuji Tahap Observasi dan Akhir Penelitian

Parameter yang di Uji	Terhadap Sampah TPA		Terhadap Sampah Pasar	
	Tahap Observasi	Tahap Akhir Penelitian	Tahap Observasi	Tahap Akhir Penelitian
Kadar Logam Berat (Pb & Cu)	√	√	-	-
pH	√	√	√	√
Kadar Air	√	√	√	√
Kadar Volatil	√	√	√	√
Permeabilitas	√	√	-	-
Densitas	√	√	√	√
Porositas	√	-	-	-
Persentase <i>Silt, Clay, Sand</i>	√	-	-	-

Tabel 3.2 Parameter yang Diuji Tahap Penelitian

Parameter yang di Uji	Gas Methan	<i>Leachate</i>
Kuantitas Gas	√	-
Kandungan Gas	√	-
Kuantitas <i>Liquid</i>	-	√
pH	-	√
Konsentrasi COD	-	√

3.3.4 Lokasi Titik Sampling

Sebelum dilakukannya pengambilan sampel, maka harus diketahui lokasi titik sampling yang akan diambil. Akan diambil lokasi sampel TPA dengan umur sampah terdegradasi lebih dari 10 tahun dan TPA dengan umur sampah terdegradasi kurang dari 5 tahun. Bekas TPA Keputih merupakan TPA dengan umur sampah terdegradasi lebih dari 10 tahun karena telah dilakukan pemberhentian operasi sejak tahun 2001 (15 tahun). TPA dengan usia kurang dari 5 tahun adalah TPA Benowo Surabaya. Walaupun telah beroperasi lebih dari 10 tahun, namun sampel yang diambil adalah sampel sampah yang ditutup kurang dari 5 tahun (terletak pada titik buang IC TPA Benowo yang beroperasi kurang dari 5 tahun). Titik sampling akan didasarkan pada koordinat titik yang akan dibaca oleh alat navigasi (berupa GPS atau *Global Positioning System*). Letak titik sampel diambil akan ditentukan oleh teknisi ahli yang mengetahui berapa banyak titik sampel yang harus diambil. Tenaga ahli juga akan menentukan kedalaman pengambilan sampel tanah. Teknisi ahli yang akan membantu adalah teknisi ahli dari Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

3.3.5 Metode Pengambilan Sampel & Pengujian Parameter

Pada penelitian kali ini akan dilakukan pengambilan sampel yang akan diuji dengan parameter tertentu. Sub bab berikut merupakan penjabaran tentang pengambilan dan pengujian parameter sampel.

3.3.5.1 Metode Pengambilan Sampel

Penelitian kali ini akan menggunakan bor mesin. Metode boring mesin merupakan teknik pengambilan sampel menggunakan mesin bor yang mampu mengambil sampel hingga kedalaman lebih dari 20 meter (Wesley, 2012).

Pengambilan sampel akan dilakukan oleh tenaga ahli yang akan membantu peneliti mengambil sampel tanah. Peneliti tidak dapat melakukan pengambilan sampel secara individu karena alat yang

digunakan merupakan alat khusus yang hanya dapat dioperasikan oleh master bor, sehingga peneliti hanya dapat mengamati prosedur pengambilan sampel di lapangan.

Akan dilakukan pengambilan sampel di 2 titik sampling. Pengambilan sampel per lokasi akan dilakukan selama 1 (satu) hari penuh. Lamanya pengambilan sampel dipengaruhi oleh kerumitan pemasangan alat boring yang harus di bongkar-pasang setiap kali pergantian titik sampling. Melihat hal tersebut, maka banyaknya titik sampel akan sangat mempengaruhi lamanya identifikasi karakteristik sampah terdegradasi.

Setelah pengambilan sampel di lapangan, di hari yang sama sampel akan dikirim ke laboratorium untuk dilakukan identifikasi karakteristik. Sampel harus dikirim sesegera mungkin untuk menjaga kondisi sampel tetap sama seperti kondisi eksistingnya. Apabila sampel dikirim ke laboratorium lebih lama dikhawatirkan akan terjadi kontaminasi pada sampel sehingga mempersulit penelitian. Untuk dapat melihat lebih jelas tentang gambaran pengambilan sampel dengan metode *boring* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Pengambilan Sampel dengan Metode Boring

3.3.5.2 Pengujian Parameter

Tahap pengujian parameter dilakukan 2 (dua) tahap. Yaitu pada tahap observasi dan tahap penelitian. Pada tahap observasi akan dilakukan pengujian karakteristik kimia dan fisik sampah terdegradasi bekas TPA Keputih Surabaya. Pengujian karakteristik kimia adalah pengujian logam berat (Pb dan Cu), pH, kadar air, komposisi karbon, oksigen dan total Nitrogen. Sedangkan pengujian karakteristik fisik adalah pengujian porositas, permeabilitas, dan densitas tanah (Kurniasari *et al.*, 2013). Pada tahap penelitian, akan dilakukan pengujian kuantitas dan kadar gas metan dan *leachate* yang dihasilkan.

Pengujian karakteristik kimia akan dilakukan dengan metode yang berbeda-beda sesuai dengan parameter karakteristik yang ingin diuji. Pengujian kadar logam berat akan dilakukan dengan menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Untuk melakukan uji pH akan dilakukan pembacaan pH tanah dengan menggunakan pH meter. Pengujian kadar air sampel akan dilakukan dengan metode termogravimetri atau metode pengeringan. Parameter terakhir yaitu menghitung C/N rasio pada sampel. C/N rasio akan dihitung dengan menggunakan metode *kjeldahl* (Kurniasari, 2014).

Penggunaan metode AAS dapat membantu mengetahui kadar logam berat dengan menggunakan reagen dan pembacaan panjang gelombang yang sesuai menggunakan spektrofotometri (Susanna dan Supriyanto, 2007). Tahapan atau langkah kerja pengujian dengan metode AAS akan dicantumkan pada lembar lampiran.

Karakteristik kimia tanah berupa pH akan diuji dengan menggunakan pH meter tanah. Tahapan atau langkah kerja pengujian dengan menggunakan pH meter akan dijabarkan pada lembar lampiran.

Kandungan kadar air pada sampah terdegradasi dapat diketahui dengan melakukan uji karakteristik dengan menggunakan metode termogravimetri. Sampel kering yang beratnya konstan

menunjukkan kadar airnya telah hilang. Selanjutnya, dapat dihitung berat air yang hilang yang dianggap sebagai kadar air sampel.

Metode *kjeldahl* digunakan untuk mengetahui kadar nitrogen pada sampel sampah terdegradasi yang diambil. Sampel cair akan dipanaskan dalam rangkaian alat *kjeldahl* sehingga akan didapati ekstrak sampel yang akan digunakan untuk mencari nilai N. Selanjutnya, sampel akan direaksikan dan dilakukan destilasi sehingga akan diketahui nilai total nitrogennya melalui perlakuan titrasi. Tahapan metode *kjeldahl* akan dilakukan dalam 2 tahapan. Tahapan pertama adalah tahap destruksi dan tahap destilasi-titrasi atau spektrofotometri. Pada penelitian kali ini akan digunakan tahap destilasi-titrasi karena reagen yang ditambahkan mudah dibuat dan perhitungan dilakukan dengan cara yang lebih mudah (Fauzi, 2008). Langkah kerja metode *kjeldahl* akan dijabarkan pada lembar lampiran.

Pengujian karakteristik fisik akan dilakukan dengan 1 (satu) metode saja. Metode yang digunakan untuk pengujian karakteristik fisik adalah metode gravimetri-volumetri. Metode ini akan membantu peneliti dalam melihat nilai porositas, permeabilitas, serta densitas tanah sampel. Pada metode ini akan dilakukan pengujian secara bertahap, sehingga satu persatu parameter dapat diketahui nilainya.

3.3.5.3 Pembuatan Reaktor Penelitian

Pengujian pada tahap penelitian akan dilakukan pembuatan reaktor sebagai wadah penelitian. Akan dibuat 16 reaktor uji dengan 2 (dua) reaktor kontrol dan 2 (dua) jenis cairan indikator gas. Cairan pertama menggunakan air biasa, dimana akan diketahui volume biogas yang dihasilkan oleh sampah. Cairan yang lain adalah larutan KOH dengan campuran *bromthymol blue* untuk mengetahui berapa gas methan yang dihasilkan dihitung berdasarkan pengurangan antara gas yang dihasilkan dengan indikator air dan indikator *bromthymol blue*. KOH akan menyerap CO₂ sehingga hanya gas methan saja yang akan tertinggal di dalam tabung reaksi. Sedangkan larutan *bromthymol blue*

merupakan indikator yang menunjukan perubahan warna signifikan saat terjadi perubahan warna menjadi keemasan akibat air yang telah tercampur dengan CO₂. Reaktor akan dibuat dari kaca dengan ukuran 25x25x100 cm lengkap dengan penampungan *leachate*. Akan dibuat 6 reaktor uji untuk setiap lokasi sampling. Masing-masing 3 (tiga) reaktor uji akan digunakan untuk menguji banyaknya gas dan *leachate* yang dihasilkan dengan menggunakan indikator penampung gas berupa air dan *bromthymol blue*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Tabel 3.3 tentang variabel yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3.3 Variabel Penelitian

Perbandingan Ketebalan Sampah dan Cover	Pengukuran <i>Biogas</i> (Penampung Gas Berupa Air)			Pengukuran Gas Methan (Penampung Gas Berupa <i>Bromthymol Blue</i>)		
	TPA Benowo	TPA Keputih	Tanah Penutup Biasa	TPA Benowo	TPA Keputih	Tanah Penutup Biasa
50 cm : 15 cm	R4	R8	-	R1	R11	-
50 cm : 20 cm	R5	R9	R15	R2	R12	R16
50 cm : 30 cm	R6	R10	-	R3	R13	-
50 cm : 0 cm	R7			R14		

Sampah pasar dan sampah TPA terdegradasi dengan berbagai perbandingan akan diletakan di dalam reaktor. Menurut Damanhuri dan Padmi (2008), ketebalan sampah pada TPA adalah (0.5-1.5) meter dan ketebalan tanah penutup adalah (0.1-0.3) meter. Melalui standar tersebut, maka diketahui perbandingan sampah pasar dan sampah terdegradasi 5:1. Berdasarkan penelitian Purwanta *et al.* (2012), uji pembentukan gas methan dilakukan pada ketebalan tanah uji 15 dan 25 cm. Penelitian tersebut menyatakan bahwa semakin tebal *biocover* semakin baik oksidasi gas methan, yang berarti makin rendah gas methan yang dilepaskan ke udara. Melihat penelitian tersebut maka akan digunakan ketebalan sampah terdegradasi 15 cm, 20 cm, dan 30 cm. Berdasarkan ketebalan yang digunakan, maka

dapat diketahui bahwa persentase sampah TPA terdegradasi adalah 30%, 40%, dan 60% dari sampah pasar yang digunakan sebagai refleksi sampah kota yang adalah sumber gas metan dan *leachate*. Selanjutnya dapat diketahui ketebalan tanah penutup dan sampah pasar berturut-turut adalah (15:50) cm, (20:50) cm, dan (30:50) cm. Digunakannya perbandingan ini adalah untuk mengetahui manakah perbandingan ketebalan paling optimum antara sampah dan sampah terdegradasi.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan 16 (enam belas) reaktor yang terbuat dari kaca dan berukuran 25 x 25 x 100 cm. bagian dasar reaktor berbentuk miring dengan ketinggian 5 cm (atau kemiringan (s) sebesar 0,2). Tujuan dari kemiringan ini adalah untuk mempermudah aliran *leachate* yang dihasilkan menuju ke penampungan *leachate*. Pada bagian bawah reaktor terdapat celah selebar 0.5 cm yang akan ditutup dengan menggunakan selang berdiameter 0.75 cm yang telah dimodifikasi untuk menyalurkan *leachate* yang terbentuk. Saluran *leachate* dimodifikasi dengan cara melubangi selang yang ada di ujung bawah reaktor bagian dalam dan ditempelkan dengan menggunakan lem kaca. Lem kaca digunakan secara tebal agar menjadi gumpalan karet saat mengering sehingga udara maupun *leachate* tidak dapat merembes keluar. Pelubangan selang dilakukan dengan cara pemanasan menggunakan alat solder. Gambar detail reaktor dapat dilihat pada lembar lampiran.

Sistem yang digunakan dalam penelitian adalah anaerobik, sehingga harus dipastikan tidak ada udara yang masuk atau keluar reaktor. Untuk memastikan tidak terjadi kebocoran, maka dilakukan pengeliman ulang pada keempat sisi tepi kaca reaktor untuk memastikan tidak ada celah pada setiap sambungan. Selanjutnya, dilakukan uji kebocoran dengan cara mem-*blow* reaktor atau meniupkan angin dengan tekanan sedang kedalam reaktor melalui lubang pada bagian atas reaktor. Selanjutnya, bagian sambungan reaktor dialiri air guna melihat ada atau tidaknya gelembung udara. Bila tidak ditemukan gelembung udara, maka reaktor dinyatakan tidak mengalami kebocoran.

Gravel baik yang berukuran ± 3 cm dan ± 1 cm disusun pada bagian dasar reaktor setinggi 5 cm dari kemiringan paling bawah reaktor. Tujuan pemberian gravel ini adalah sebagai penyangga agar *leachate* yang dikeluarkan oleh sampah tidak tertahan oleh sampah, namun dapat langsung mengalir melalui celah batu. Selain itu, gravel berfungsi untuk menyamakan permukaan dasar reaktor sehingga mempermudah peletakan sampah pada reaktor.

Sampah pasar yang diambil dari Pasar Keputran Surabaya diletakan diatas gravel setinggi 50 cm. Sampah pasar merupakan sumber *leachate* dan gas methan yang akan diukur untuk mengetahui efektivitas *biocover*. Kandungan dan unsur pada sampah pasar akan dibahas pada bab berikutnya. Sampah pasar juga berfungsi sebagai model sampah yang dibuang ke TPA. Menurut Damanhuri dan Padmi (2008), ketebalan sampah rata-rata pada TPA adalah (0.5 – 1.5) meter, sehingga digunakan ketinggian minimum sampah yaitu sebesar 0.5 meter.

Sampah pasar yang digunakan akan dicampur dengan racikan EM4 terlebih dahulu. Tujuan dicampurkannya EM4 adalah sebagai bioaktivator yang merupakan bakteri pengurai sehingga sampah lebih cepat terurai dan mampu menghasilkan gas dan *leachate* lebih cepat. EM4 akan ditambahkan sebanyak 1 liter untuk setiap sampah yang dimasukan kedalam reaktor. Setiap reaktor diisi sampah seberat 30 kg, artinya setiap 30 kg sampah akan ditambahkan 1 liter EM4. Racikan EM4 dibuat dengan mencampurkan bioaktivator EM4 sebanyak 1 liter, larutan gula sebanyak 0,5 liter dan air bekas cucian pertama beras sebanyak 1 liter. Racikan EM4 digunakan untuk mengaktifkan bakteri yang dalam EM4 sehingga bakteri dapat melakukan penguraian terhadap zat organik lebih cepat (Megawati dan Aji, 2014).

Tanah penutup dan sampah terdegradasi digunakan sebagai tanah penutup (*biocover*) dengan ketinggian 15 cm, 20 cm, dan 30 cm. Perbandingan ketinggian didasarkan pada penelitian yang dilakukan Purwanta *et al.* (2012), yang melakukan penelitian dengan penggunaan *biocover* setebal 15 cm dan 25 cm. selain itu, menurut Damanhuri dan Padmi (2008), ketebalan tanah penutup harian rata-rata adalah (0.1 – 0.3) meter sehingga

ketinggian sampah sebagai tanah penutup telah memenuhi *range* penelitian. Sampah terdegradasi yang digunakan adalah sampah yang sudah ditimbun selama lebih dari 10 tahun dan kurang dari 5 tahun. Sampah terdegradasi lama (berusia lebih dari 10 tahun) diambil dari sampah bekas TPA Keputih Surabaya dan sampah terdegradasi baru (kurang dari 10 tahun) diambil dari sampah TPA Benowo Surabaya. Tanah penutup biasa yang digunakan sebagai kontrol untuk membandingkan efektivitas tanah penutup terhadap penurunan gas metan dan *leachate* diambil dari tanah penutup yang digunakan di TPA Tlekung Batu.

Peforated baffle wall (PBW) diletakan diatas *biocover* dengan jarak 5 cm dari bagian tutup reaktor. *Peforated baffle wall* merupakan dinding penyekat yang berlubang. *Peforated baffle wall* ini dibuat menggunakan karton plastik yang bersifat anti air berukuran 25 cm x 25 cm yang telah dilubangi sebanyak 392 lubang menggunakan solder. Fungsi dari dinding penyekat ini adalah untuk meratakan aliran air ke seluruh permukaan *biocover* saat nantinya dilakukan hujan buatan.

Penutupan reaktor dilakukan setelah sampah dan *biocover* dimasukan sesuai perencanaan penelitian. Selanjutnya dipasang selang udara pada bagian atas tutup reaktor menembus bagian bawah PBW. Selang ini akan mengalirkan gas yang terbentuk dari dalam reaktor menuju penampungan gas berupa tabung reaksi berukuran 1 liter. Tutup reaktor akan direkatkan dengan menggunakan lem kaca, dan selanjutnya akan ditambal dengan menggunakan plastisin. Setiap sambungan pipa maupun sambungan penutup akan ditutup ulang dengan menggunakan plastisin. Penutupan menggunakan plastisin dilakukan untuk memastikan tidak ada kebocoran udara pada reaktor, sehingga udara dapat ditampung seluruhnya pada penampungan gas.

Selang penyalur gas akan dimasukan kedalam gelas ukur berukuran 1 liter yang terisi air dengan posisi terbalik. Rangkaian ini dibuat untuk mengetahui kuantitas gas yang dihasilkan setiap reaktor. Sebanyak 8 (delapan) reaktor dengan 8 (delapan) variasi menggunakan air biasa sebagai penahan gas dan sisanya air larutan KOH (Kalium Hidroksida). Air murni akan menahan gas

yang dihasilkan dari setiap reaktor sehingga melalui penampakan penurunan air pada gelas ukur 1L dapat diketahui kuantitas gas yang dihasilkan. Sedangkan untuk larutan KOH akan menyerap CO₂ yang dihasilkan dari setiap reaktor sehingga CO₂ tidak akan terhitung pada setiap penambahan nilai ukur gas yang dihasilkan. Karbon dioksida akan larut kedalam larutan KOH sehingga hanya gas metan saja yang tertinggal dalam tabung dan terhitung sebagai kuantitas gas metan yang dihitung.

Pada penelitian kali ini akan dibuat larutan KOH sebagai media penyerapan CO₂ yang terbentuk dari setiap reaktor. Dilakukan pembuatan larutan KOH dengan mencampurkan 40 gram serbuk putih KOH dengan 1 liter air. Larutan KOH berwarna putih keruh dan tidak berbau. Pada saat dilakukan pencampuran untuk pertama kali larutan KOH mengalami kenaikan suhu yang cukup tinggi sehingga akan membakar kulit bila tersentuh larutan KOH pada awal pencampuran. Suhu larutan kembali normal pada menit kelima sejak pengadukan dihentikan. KOH bersifat basa kuat sehingga bereaksi tidak baik bila tersentuh kulit.

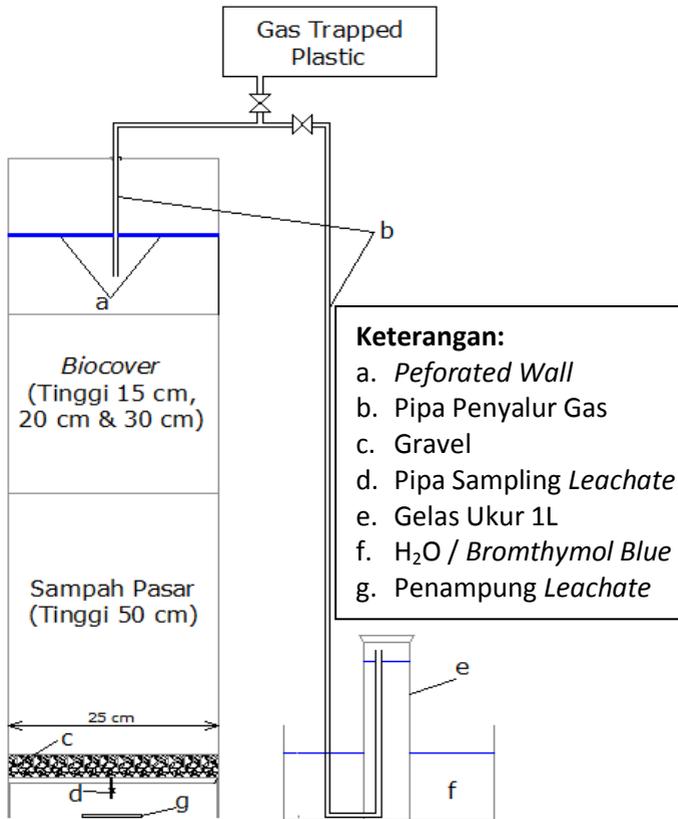
Setelah larutan KOH siap untuk digunakan, indikator C₂₇H₂₈Br₂O₅N atau biasa disebut *Bromothymol Blue* (BTB) akan ditambahkan pada larutan KOH sebagai indikator utama penelitian. *Bromothymol Blue* berwarna orange bening namun akan berubah menjadi biru bila diteteskan pada larutan yang bersifat basa. *Range* pH BTB adalah 5,8 – 7,6. Bila larutan bersifat basa seperti KOH maka saat *Bromothymol Blue* diteteskan akan memberikan efek warna biru. Larutan *Bromothymol Blue* ditambahkan sebanyak 10 mL untuk setiap 5 (lima) liter larutan KOH yang akan digunakan untuk penelitian. Saat larutan telah jenuh dengan CO₂ dimana pH akan turun dan menyentuh angka 5,8 maka larutan akan berubah menjadi berwarna kuning. Saat larutan KOH telah berwarna kuning akibat CO₂ yang larut dalam larutan KOH, maka larutan KOH harus segera diganti dengan yang baru. Tabel 3.4 menunjukkan komposisi sampah pasar dan *biocover* yang digunakan.

Tabel 3.4 Komposisi Material Uji setiap Reaktor Uji

Reaktor	<i>Biocover</i>	Penampung Gas	Tebal Biocover
Reaktor 1	Sampah TPA Benowo	Larutan KOH + BTB	15 cm
Reaktor 2	Sampah TPA Benowo	Larutan KOH + BTB	20 cm
Reaktor 3	Sampah TPA Benowo	Larutan KOH + BTB	30 cm
Reaktor 4	Sampah TPA Benowo	Air	15 cm
Reaktor 5	Sampah TPA Benowo	Air	20 cm
Reaktor 6	Sampah TPA Benowo	Air	30 cm
Reaktor 7	Tanpa <i>Biocover</i>	Air	-
Reaktor 8	Sampah TPA Keputih	Air	15 cm
Reaktor 9	Sampah TPA Keputih	Air	20 cm
Reaktor 10	Sampah TPA Keputih	Air	30 cm
Reaktor 11	Sampah TPA Keputih	Larutan KOH + BTB	15 cm
Reaktor 12	Sampah TPA Keputih	Larutan KOH + BTB	20 cm
Reaktor 13	Sampah TPA Keputih	Larutan KOH + BTB	30 cm
Reaktor 14	Tanpa <i>Biocover</i>	Larutan KOH + BTB	-
Reaktor 15	Tanah Penutup Biasa	Air	20 cm
Reaktor 16	Tanah Penutup Biasa	Larutan KOH + BTB	20 cm

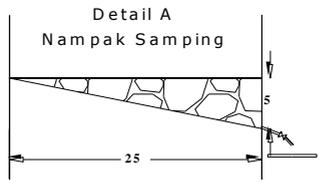
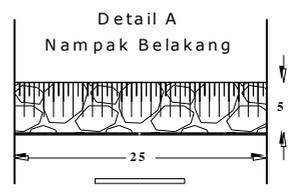
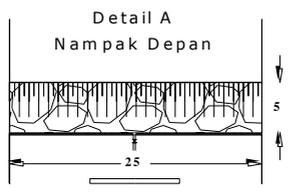
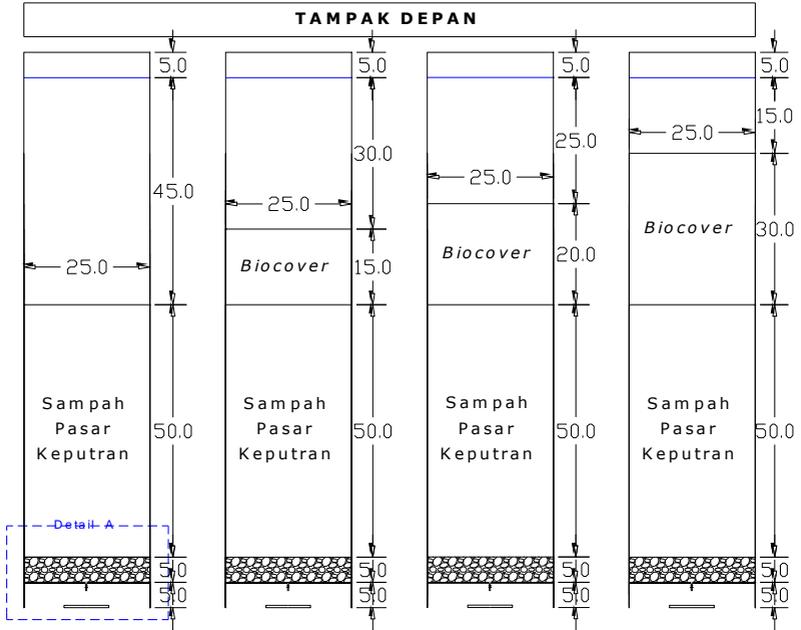
Perbandingan ketinggian sampah dan sampah terdegradasi yang optimum ditandai dengan dihasilkannya gas metan yang minim. Selanjutnya, akan dilakukan hujan buatan dengan intensitas waktu 1 (satu) kali dalam masa pengujian dengan mengacu pada intensitas rata-rata curah hujan kota Surabaya tahun 2015 sebesar 100 mm/m² (Profil Kota Surabaya, 2015). Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh hujan terhadap pembentukan dan kualitas *leachate* yang terbentuk dengan menggunakan tanah penutup berupa *biocover*. Selain itu, dapat diketahui bahwa *leachate* terbentuk juga karena adanya air hujan yang masuk melalui pori tanah (Kusumawati, 2012). Dengan

melihat kondisi eksisting di lapangan serta melihat perbandingan ketebalan biocover, maka dapat diketahui mana perbandingan paling optimum. Gambaran reaktor secara jelas dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sketsa Rangkaian Reaktor Penelitian

Pada Gambar 3.3 dapat dilihat dengan jelas rangkaian reaktor penelitian. Selanjutnya akan ditunjukkan gambar reaktor pada kondisi eksisting dan gambar teknik reaktor penelitian tampak depan detail bagian bawah reaktor yang tercantum pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Sketsa Detail Berskala Reaktor Penelitian
Skala 1 : 15

3.4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini akan membahas tentang pengujian karakteristik fisik dari sampah yang telah terdegradasi dan sampah pasar baru. Setelah diketahui karakteristiknya, akan dilakukan pengujian menggunakan reaktor dan dilakukan pengamatan terhadap timbulan gas metan dan *leachate*. Pengamatan dilakukan dengan mengukur jumlah gas metan dan *leachate*, dan juga menguji pH dan kandungan COD *leachate* yang dihasilkan secara berkala. Di akhir penelitian akan diuji kembali karakteristik sampah terdegradasi dan sampah pasar untuk mengetahui perubahan yang terjadi selama masa penelitian. Hasil yang didapatkan dalam penelitian kali ini adalah kondisi paling optimum perbandingan sampah terdegradasi dengan sampah domestik. Selain itu dapat dilihat pula pengaruh umur sampah terdegradasi untuk digunakan sebagai tanah penutup harian di TPA. Kondisi optimum yang didapat dari penelitian ini dapat digunakan sebagai pembanding dan rekomendasi dalam penggunaan sampah terdegradasi sebagai media *biocover*. Penelitian yang dilakukan juga akan membantu *stakeholder* terkait dalam meminimalisir anggaran pembelian tanah penutup harian di TPA.

3.5 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang akan diambil merupakan hasil akhir perbandingan paling optimum antara sampah dan *biocover*. Kesimpulan yang diberikan akan memberikan jawaban terhadap tujuan yang diberikan pada bab pertama. Saran yang akan diberikan kepada peneliti berikutnya merupakan saran yang mengarah pada perbaikan penelitian. Perbaikan penelitian berikutnya tersebut dapat menyempurnakan penelitian ini dan penelitian-penelitian sebelumnya.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PENELITIAN PENDAHULUAN

Data awal didapatkan dengan melakukan penelitian awal atau penelitian pendahuluan. Data yang didapatkan akan digunakan sebagai acuan dasar untuk melaksanakan penelitian. Data awal yang akan dicantumkan meliputi karakteristik sampah baik secara fisik maupun kimia serta komposisi sampah baik sampah pasar maupun sampah terdegradasi. Data awal yang digunakan untuk kandungan dari sampah pasar dan sampah terdegradasi adalah kandungan logam berat (Pb dan Cu), pH, kandungan zat organik (C,H,O, dan N) dan kadar airnya. Sedangkan data lain yang digunakan untuk sampah terdegradasi saja yaitu hasil uji gravimetri-volumetri dan karakterisasi komposisi tanah.

4.1.1 Pengambilan Sampel Sampah TPA Terdegradasi

Sampel sampah TPA terdegradasi diambil dengan menggunakan metode boring mesin. Bor mesin digunakan untuk mengambil sampel sampah hingga dasar sampah. Dasar sampah dapat diketahui dengan melihat struktur tanah pada kedalaman tertentu dimana kondisi tanah merupakan tanah padat atau tanah lempung dengan tebal lebih dari 1 (satu) meter.

Peralatan boring mesin akan dipindahkan dari dalam kendaraan besar (*truck*) dan dipikul menggunakan tenaga manusia menuju lokasi pengambilan sampel. Selanjutnya, alat bor akan dirangkai sehingga dapat dilakukan pengambilan sampel. Pengambilan sampel di TPA Benowo terletak pada titik $07^{\circ}13'07,98''S$ dan $112^{\circ}37'39.93''E$. Sedangkan lokasi pengambilan sampel di bekas TPA Keputih terletak pada $7^{\circ}17'42.14''S$ dan $112^{\circ}48'13.76''E$. Penentuan titik koordinat lokasi dilakukan dengan menggunakan bantuan alat GPS yang disediakan oleh tim ahli.

Berdasarkan hasil analisis boring, dapat diketahui bahwa lapisan dasar sampah di bekas TPA Keputih berada pada kedalaman 8

(delapan) meter, dan di lokasi TPA Benowo berada pada kedalaman 10 (sepuluh) meter. Kondisi yang terlihat sesuai dengan yang tercantum pada GPS dimana ketinggian pengambilan data lokasi adalah 10 meter dari lokasi tanah permukaan sekitar TPA Benowo dan 8 meter dari lokasi tanah permukaan sekitar bekas TPA Keputih. Untuk laporan analisis boring dapat dilihat pada lembar lampiran.

Setiap sampel yang diambil dikumpulkan di dalam karung plastik khusus dan disimpan di dalam lemari pendingin khusus untuk tanah uji. Penyimpanan dilakukan untuk mempertahankan kondisi tanah uji agar sama seperti pada saat pengambilan sampel. Tanah uji yang disimpan selanjutnya akan dimasukkan kedalam reaktor untuk kemudian dilakukan pengujian.

4.1.2 Karakteristik Fisik Tanah Penutup

Karakter fisik merupakan penjamin utama agar gas *landfill* dapat masuk kedalam material tanah penutup. Sebagian besar aliran gas akan mengalir secara *advective* (transport horizontal) dan sebagian besar aliran O₂ adalah secara difusi (Pedersen, 2010). Karakteristik fisik media *biocover* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Fisik Tanah Penutup & *Biocover*

Karakteristik Uji	TPA Benowo	TPA Keputih	Tanah Penutup
Kadar Air (%)	70.21	57.75	34.14
Kadar Volatil (%)	39.12	30.56	18.89
Permeabilitas (cm/s)	2,22 x 10 ⁻⁵	1,01 x 10 ⁻⁵	0,11 x 10 ⁻⁶
Densitas (kg/m ³)	533	800	693
Porositas	0.53	0.64	0.56
<i>Sand</i> (pasir) (%)	54.12	58.21	21.12
<i>Silt</i> (Lanau) (%)	32.34	24.66	18.27
<i>Clay</i> (Lempung) (%)	13.54	17.13	60.61

Sumber Uji : Lab Mektan, Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS

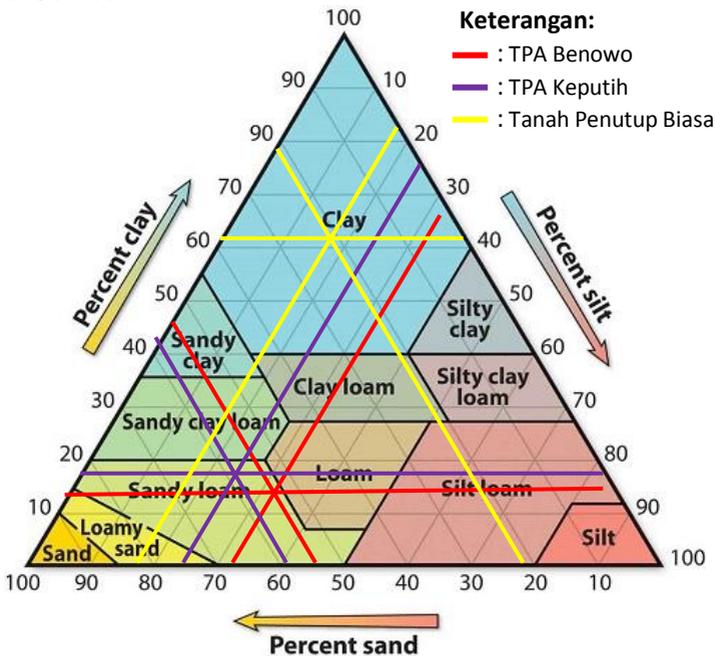
Tanah penutup yang digunakan dalam penelitian adalah tanah penutup sebagai *biocover* dan tanah penutup biasa. *Biocover* diambil dari sampah terdegradasi berusia lebih dari 10 tahun dari bekas TPA Keputih dan dengan usia kurang dari 5 tahun dari TPA Benowo. Sedangkan tanah penutup biasa diambil dari tanah penutup yang digunakan di TPA Tlekung Batu.

Kadar air merupakan hal yang sangat penting dalam mendukung kehidupan mikroorganisme pengurai gas metan (Zeiss, 2009). Sampah terdegradasi memiliki kapasitas yang besar untuk mempertahankan kelembaban media. Kadar air optimum untuk laju oksidasi terbesar adalah antara 10%-15% (Park *et al.*, 2009), dan antara 21%-28% (Einola *et al.*, 2007). Berdasarkan hasil analisis, kadar air *biocover* memiliki kadar yang cukup tinggi yaitu diatas 50%. Kemampuan sampah terdegradasi untuk menyerap air menjadi faktor yang menyebabkan kadar air sampah cukup tinggi. Kadar air *biocover* yang di uji memiliki rentang yang jauh berbeda dengan kadar air tanah penutup yang digunakan sebagai tanah penutup harian TPA pada umumnya yaitu sebesar 25%-30% (Kurniasari *et al.*, 2010). Penelitian Albanna *et al.* (2007), menunjukkan semakin tinggi kelembaban media semakin tinggi pula aktivitas oksidasi oleh mikroorganisme. Namun, penurunan oksidasi gas metan juga terjadi karena adanya kadar air yang terlalu tinggi, hal ini dikarenakan air memenuhi agregat atau pori media sehingga menghambat aliran gas.

Porositas media yang cukup untuk transportasi oksigen merupakan salah satu syarat tanah penutup aktif (*biocover*). Nilai porositas minimum untuk transfer oksigen pada tanah adalah 0.45 dan nilai porositas tanah yang digunakan untuk tanah penutup berkisar antara 0.4 sampai 0.55 (Zeiss, 2009). Media *biocover* yang diuji memiliki kadar porositas diatas 0,5. Penelitian yang dilakukan oleh Abichou *et al.* (2009), menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai porositas tanah akan semakin baik dalam menahan gas dalam tanah. Hal ini akan sangat menguntungkan, karena bakteri pengurai gas metan dapat menguraikan gas metan dengan waktu yang lebih panjang.

Berdasarkan data yang didapatkan, permeabilitas *biocover* melebihi batas rata-rata permeabilitas tanah penutup yang diharuskan. Permeabilitas rata-rata yang digunakan untuk tanah penutup harian TPA adalah 1×10^{-6} (Damanhuri, 2008). Kondisi ini akan menyebabkan air hujan atau *leachate* mudah masuk kedalam tumpukan tanah penutup, dan menyebabkan tingginya kandungan air yang dihasilkan.

Untuk menentukan kadar *sand*, *silt*, dan *clay* maka dilakukan analisa saringan dan selanjutnya dianalisis jenis *biocover*. Analisis jenis tanah penutup dilakukan berdasarkan diagram segitiga trilinear yang pertamakali dicetuskan oleh Departemen Agrikultur USA untuk memberi nama relativitas tekstur tanah (Cookson, 1995). Diagram penentuan jenis tanah dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Jenis Tanah Trilinear
Sumber : Cookson (1995)

Berdasarkan diagram tersebut dapat diketahui bahwa *biocover* yang akan digunakan berada pada area *sandy loam* sedangkan tanah penutup biasa yang digunakan berada pada daerah *clay*. Penelitian yang dilakukan oleh Abichou *et al.* (2009), dan Scheutz *et al.* (2009), menunjukkan efektivitas penggunaan tanah dengan jenis *sandy loam* sebagai tanah penutup. Berdasarkan hasil penelitian Kurniasari *et al.* (2014) diketahui bahwa tanah jenis *sandy loam* mampu mengurangi produksi gas metan secara signifikan hingga 80%. Kondisi tanah dengan jenis *sandy loam* memiliki nilai porositas yang tinggi sehingga sangat baik untuk distribusi fase cair dan gas di dalamnya. Distribusi fase cair dan gas yang baik akan membantu mikroorganisme mempercepat proses degradasi gas metan yang ada di dalamnya.

4.1.3 Karakteristik Kimia Tanah Penutup

Karakteristik kimia suatu tanah penutup akan mempengaruhi proses pelepasan gas metan ke udara bebas akibat aktivitas mikroorganisme. Parameter yang akan diukur untuk mendukung efektivitas tanah penutup dalam laju pembentukan gas metan akan disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Uji Karakteristik Kimia Tanah Penutup & *Biocover*

Karakteristik Uji	TPA Benowo	TPA Keputih	Tanah Penutup
pH	7,82	7,25	7,04
C-organik (%)	8,16	7,92	-
N-total (%)	0,48	0,39	-
C/N rasio	17,00	20,31	-
Kadar Pb (ppm)	16,96	21,87	0,0025
Kadar Cu (ppm)	12,84	15,15	0,0003

Sumber Uji: Balai Penelitian dan Konsultasi Industri (PBKI)

pH optimal untuk proses oksidasi gas metan oleh mikroorganisme adalah antara 6,5 sampai dengan 8,5 (Divya *et al.*, 2015). Hasil uji pada *biocover* menunjukkan adanya kondisi pH pada kisaran 7 sehingga memenuhi kondisi optimum pH tanah untuk proses oksidasi gas metan. Kondisi pH yang

optimum akan membantu mikroorganisme melakukan proses degradasi gas metan.

Selain substrat karbon yang ada dalam gas metan, mikroorganisme metanotrofik membutuhkan nutrisi untuk metabolisme sel tubuhnya. Humer *et al.* (2008), menyatakan rasio C/N yang dibutuhkan mikroorganisme untuk melakukan metabolisme sel adalah 14. Mengacu pada hasil uji, diketahui rasio C/N *biocover* lebih tinggi sehingga melewati batas optimum yang telah ditentukan. Namun, dikarenakan sampah yang ditimbun akan memberikan kapasitas CH₄ lebih besar, maka kekurangan nutrisi pada tanah penutup tidak akan menjadi masalah besar akibat proses oksidasi yang dilakukan mikroorganisme akan melengkapi nutrisi yang dibutuhkan. Kandungan organik tanah yang tinggi umumnya akan meningkatkan laju oksidasi (Christophersen *et al.*, 2004).

Analisis kimia yang terakhir dilakukan adalah analisis logam berat berupa Cu dan Pb. Penelitian yang dilakukan oleh Lee *et al.* (2009), menunjukkan bahwa penambahan logam berat Cu memberikan efek menghambat oksidasi gas metan pada penambahan hingga 250 mg Cu/kg tanah. Namun, penambahan berikutnya tidak menimbulkan reaksi penurunan oksidasi dikarenakan bakteri telah melakukan penyesuaian dan tidak lagi rentan terhadap logam berat. Berdasarkan hasil uji, logam berat yang terkandung dalam sampah terdegradasi bekas TPA Keputih lebih tinggi dari sampah terdegradasi TPA Benowo. Hal ini akan menjadi faktor penghambat dalam mikroorganisme melakukan degradasi gas metan.

4.1.4 Karakteristik Sampah Pasar

Sampah yang digunakan di penelitian kali ini adalah sampah yang diambil dari pasar Keputran Surabaya. Dilakukan pengambilan sampah di pasar adalah untuk mendapatkan sampah yang mudah untuk diuraikan oleh mikroorganisme. Penelitian yang dilakukan oleh Warmadewanthi *et al.* (2016), menunjukkan bahwa 71% sampah di kota Surabaya termasuk

sampah yang mudah diuraikan. Hal ini yang menjadi dasar digunakannya sampah pasar Keputran untuk penelitian.

Karakteristik fisik yang akan diuji adalah suhu, densitas dan pH sampah. Sampah pasar dimasukkan kedalam reaktor dengan ukuran 25cm x 25cm sebanyak 30 kg untuk ketinggian 50 cm sehingga densitas sampah dikondisikan sebesar 960 kg/m³. Suhu sampah saat dimasukkan kedalam reaktor adalah 36 °C. Kondisi suhu yang demikian masuk dalam kategori hangat, dimana kondisi ini timbul setelah sampah mengalami degradasi pada tahap awal. Sampah memiliki pH yang asam yaitu 5,5.

Karakteristik kimia sampah akan diuji secara *proximate analysis* dan *ultimate analysis*. Karakteristik berdasarkan *proximate analysis* adalah kadar air (*moisture content*), dan kadar *volatile solid*. Kandungan air pada sampah akan sangat mempengaruhi kualitas dan kuantitas *leachate* yang dihasilkan dan kadar *volatile solid* akan menunjukkan kemampuan sampah untuk dapat didegradasi oleh mikroorganisme yang ada pada sampah itu sendiri (Herawati *et al.*, 2010). *Ultimate analysis* merupakan analisis karakteristik sampah untuk menentukan komposisi senyawa organik yang ada di dalamnya seperti senyawa karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O) dan Nitrogen (N) (Abdullah, 2017). Karakteristik kimia yang diuji terhadap sampel sampah Pasar Keputran dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji Karakteristik Kimia Sampah Pasar Keputran

Analisis	Karakteristik Uji	Satuan	Nilai
<i>Proximate*</i> <i>Analysis</i>	Kadar air	%	80,12
	<i>Volatile Solid</i>	%	88,21
<i>Ultimate**</i> <i>Analysis</i>	Karbon (C)	%	51,72
	Hidrogen (H)	%	6,81
	Oksigen (O)	%	37,22
	Nitrogen (N)	%	1,95

Sumber Uji : * Lab Mektan, Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS

**Balai Penelitian dan Konsultasi Industri (PBKI)

Melalui hasil pengujian dapat diketahui bahwa kadar air sampah Pasar Keputran saat dimasukkan kedalam reaktor cukup tinggi. Hal ini dapat mengganggu proses degradasi oleh bakteri. Kadar *volatile solid* yang tinggi menunjukkan bahwa sampah dapat diubah menjadi bentuk lain berupa sel bakteri, suhu yang meningkat, serta gas-gas lain (Zulkarnain *et al.*, 2013).

Hasil *ultimate analysis* akan sangat membantu dalam penentuan rumusan kimia sampah Pasar Keputran, sehingga dapat dicari perkiraan banyaknya gas metana yang akan dihasilkan. Untuk mengetahui perkiraan banyaknya gas metana yang akan dihasilkan maka diperlukan perhitungan koefisien unsur kimia dengan menghitung nilai mol masing-masing unsur dengan rumus :

$$mol\ unsur = \frac{Massa\ Unsur\ (kg)}{Ar\ Unsur} \dots\dots\dots 4.1$$

Massa unsur dapat dicari dengan mengalikan persentasi komponen unsur dengan berat sampah kering. Setiap reaktor diisi dengan 30 kg sampah basah, dan dengan data kadar air sampah sebesar 80,12%, maka dapat diketahui bahwa berat kering sampah adalah sebesar 5,964 Kg. Melalui rumus 4.1 dapat diketahui komposisi unsur kimia sampah seperti yang tercantum pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Komposisi Kimia Sampah Pasar Keputran

Unsur	%	Massa (kg)	Mr	Mol	Mol N=1
		(1)	(2)	(1)/(2)	
Karbon	51.72%	3.08	12	0	31
Hidrogen	6.81%	0.41	1	1	49
Oksigen	37.22%	2.22	16	0	17
Nitrogen	1.95%	0.12	14	0	1

Melalui hasil perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa senyawa kimia sampah secara teoritis adalah $C_{31}H_{49}O_{17}N$.

Pada penelitian ini ditambahkan EM4 untuk mempermudah proses degradasi. Selain itu, pada operasional penimbunan sampah di TPA Benowo juga disemprotkan EM4. Kadar air sampah akan bertambah dengan penambahan EM4, karena EM4 yang ditambahkan berbentuk cair, namun EM4 akan mempercepat proses degradasi karena mengandung mikroorganisme untuk mendegradasi sampah.

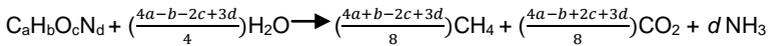
4.2 PENGARUH UMUR DAN KETEBALAN *BIOCOVER* TERHADAP PEMBENTUKAN GAS

Sampah yang ditumpuk di *landfill* akan menghasilkan gas yang akan dilepaskan ke lingkungan sekitar. Gas terbentuk akibat adanya aktivitas mikroorganisme yang melakukan degradasi terhadap sampah. Gas yang dilepaskan oleh sampah akan melewati lapisan tanah penutup terlebih dahulu, sehingga gas akan terperangkap di dalam tanah. Penangkapan gas dalam tanah dapat terjadi akibat kondisi porositas tanah penutup yang cukup untuk menahan gas di dalam tanah dan juga karena adanya bakteri methanogenesis yang merubah gas methan menjadi gas lain yang lebih aman dilepaskan ke lingkungan sekitar (Purwanta *et al.*, 2012). Tanah yang kaya akan nutrisi seperti yang terkandung pada sampah terdegradasi menunjukkan tingginya populasi mikroorganisme pengurai yang diperkirakan juga mampu mendegradasi methan sehingga sangat baik untuk digunakan sebagai *biocover* (Kurniasari *et al.*, 2014). Semakin tua usia sampah kota yang terdegradasi, dan semakin tebal *biocover* menggunakan sampah terdegradasi semakin baik proses degradasi gas methan yang terjadi. Hal ini dikarenakan semakin tingginya populasi bakteri pengurai gas methan seiring dengan pertambahan usia sampah terdegradasi dan ketebalan *biocover* (Purwanta *et al.*, 2012).

4.2.1 Pembentukan Gas Secara Stoikiometri

Pembentukan gas hasil degradasi sampah dapat diperkirakan dengan menggunakan perhitungan secara stoikiometri yang berdasarkan perbandingan molar setiap senyawa kimia yang terkandung di dalam sampah (Abdullah, 2017). Melalui

perhitungan pada sub bab sebelumnya, diketahui rumus kimia sampah uji adalah $C_{31}H_{49}O_{17}N$. Berdasarkan rumusan kimia tersebut, dapat diestimasi rumus kimia sampah dengan menggunakan rumus yang tercantum pada persamaan 4.2 di bawah ini (Tchobanoglous *et al.*, 1993).



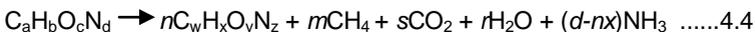
Berdasarkan rumusan tersebut, maka dapat ditentukan rumusan senyawa kimia sampah uji sebagai berikut:



Melalui reaksi tersebut dapat dihitung perkiraan gas CH_4 dan gas CO_2 dengan menggunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Volume gas (m}^3\text{)} = \frac{\text{Berat sampah (Kg)}}{\text{Mr } C_{31}H_{49}O_{17}N} \times \frac{\text{Mr gas}}{\text{Sw gas}} \times \frac{\text{Koefisien gas}}{1} \dots\dots 4.3$$

Berat sampah yang digunakan adalah berat kering, sehingga digunakan berat sampah sebesar 5,964 kg. *Specific Weight* (*Sw*) untuk gas CH_4 adalah sebesar 0,7248 kg/m³ dan *Specific Weight* (*Sw*) untuk gas CO_2 adalah sebesar 1,9980 kg/m³ sehingga dapat diketahui gas metan yang terbentuk untuk setiap reaktor adalah sebanyak 3,191 m³ (3.191 L) dan gas CO_2 yang terbentuk adalah 2,605 m³ (2.605 L). Selain itu dapat dihitung pembentukan gas NH_3 (Amonia) dengan menggunakan cara yang sama. Diketahui *Specific Weight* (*Sw*) gas amonia adalah 0,7798 kg/m³ sehingga dapat dihitung banyak gas NH_3 terbentuk adalah 0,1853 m³ (185 L). Dengan demikian dapat diketahui total gas yang terbentuk berdasarkan stoikiometri adalah sebesar 5,981 m³ (5.981 L). Perhitungan ini merupakan perhitungan pembentukan gas total yang terbentuk bila sampah terdegradasi secara sempurna, sedangkan dalam penelitian, dipastikan bahwa tidak semua unsur sampah akan berubah menjadi gas, sehingga dapat ditulis rumusan senyawa yang nantinya akan digunakan sebagai pembanding pembentukan gas pada periode uji. Rumusan kimia dapat dituliskan sebagai berikut:



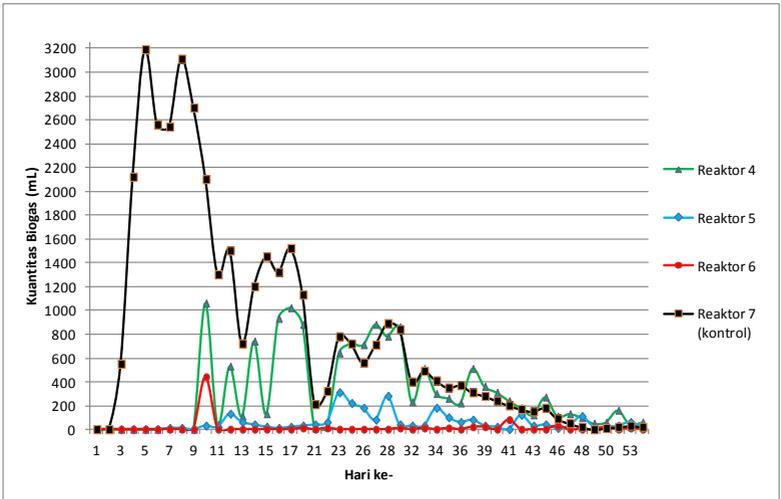
Berdasarkan persamaan tersebut dapat kita ketahui bahwa gas Methan yang terbentuk tentunya memiliki volume yang lebih kecil dibandingkan dengan kandungan senyawaan kimia bahan organik yang ada. Selanjutnya dengan membandingkan senyawaan gas methan yang terbentuk berdasarkan pengujian pada reaktor uji dan gas methan yang terbentuk berdasarkan uji GC dapat diketahui kondisi pengujian yang telah benar atau tidak.

4.2.2 Produksi Gas Harian pada Setiap Reaktor Uji

Gas yang dihasilkan pada tiap reaktor akan dicatat setiap hari untuk mengetahui pengaruh ketebalan dan usia *biocover* dalam mereduksi gas methan yang akan dilepaskan ke udara. Hasil pencatatan akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh usia *biocover* dan berapakah ketebalan tanah penutup yang paling efisien untuk mereduksi gas yang dihasilkan di *landfill*.

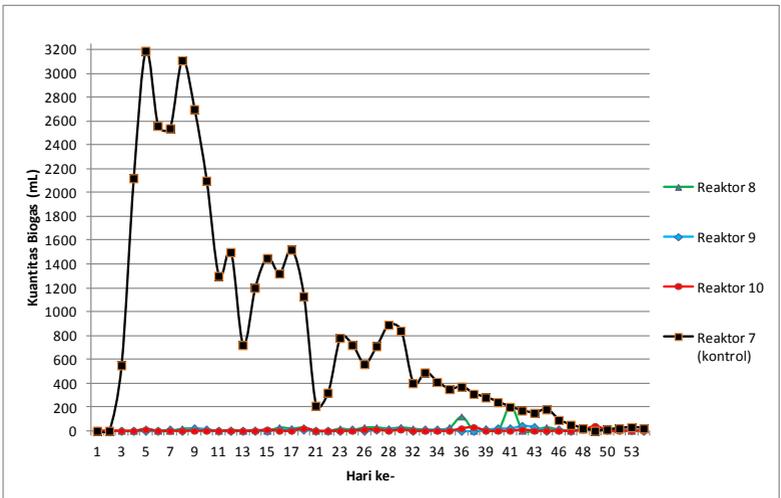
4.2.2.1 Kuantitas Biogas Harian pada Setiap Reaktor Uji

Gas yang dihasilkan oleh sampah akan melewati tanah penutup. Selanjutnya, gas yang mampu melewati tanah penutup akan masuk melalui selang dan akan menekan air sehingga dapat diukur kuantitas biogas yang dihasilkan. Biogas yang dihasilkan dengan penggunaan *biocover* TPA Benowo diukur pada reaktor 4-6 dan dengan *biocover* TPA Keputih diukur pada reaktor nomor 8-10 dengan variasi ketebalan *biocover* berturut-turut 15 cm, 20 cm, dan 30 cm. Untuk melakukan kontrol terhadap total biogas yang dihasilkan oleh sampah, dilakukan pengukuran gas pada reaktor sampah tanpa tanah penutup pada reaktor 7. Gambar 4.2 hingga Gambar 4.4 menunjukkan grafik kuantitas biogas yang dihasilkan oleh sampah pada reaktor yang digunakan.



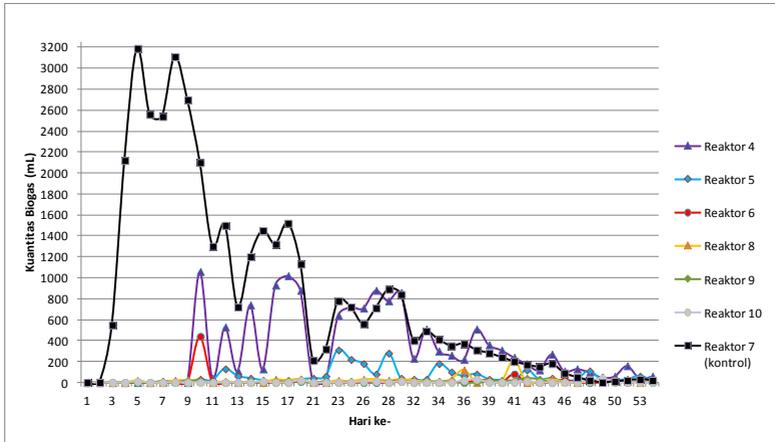
R4 = 15 cm *biocover* ; R5 = 20 cm *biocover* ; R6 = 30 cm *biocover* ; R7 = Tanpa *Biocover*

Gambar 4.2 Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo



R8 = 15 cm *biocover* ; R9 = 20 cm *biocover* ; R10 = 30 cm *biocover*; R7 = Tanpa *Biocover*

Gambar 4.3 Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih



Gambar 4.4 Biogas Harian Variasi Tanah Penutup

Pada grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa biogas yang dihasilkan oleh sampah tanpa tanah penutup sangat tinggi. Keadaan ini terjadi karena gas yang dihasilkan oleh sampah langsung ditangkap dalam tabung reaksi tanpa melalui proses “penyaringan” oleh tanah penutup. Biogas pada reaktor nomor 7 merupakan patokan pembentukan gas harian yang dihasilkan oleh sampah selama proses uji. Rata-rata pembentukan gas harian pada reaktor nomor 7 adalah sebesar 822 ml/hari.

Berbeda dengan kondisi reaktor 7, reaktor lain menunjukkan angka pembentukan biogas yang relatif lebih rendah. Bakteri yang hidup dalam *biocover* melakukan reduksi terhadap gas yang dihasilkan sampah. Kegiatan reduksi gas oleh mikroorganisme menunjukkan bahwa tanah yang kaya akan bakteri pengurai khususnya pengurai gas dan gas metan mampu menekan laju pembentukan gas yang ditimbulkan di *landfill* (Kurniasari, *et al.*, 2013). Gambar 4.4 menunjukkan perbandingan gas yang dihasilkan setiap hari untuk reaktor yang menggunakan tanah penutup dengan variasi yang diberikan.

Untuk variasi yang diberikan pada *biocover* dengan sampah TPA Benowo (reaktor 4 sampai 6), dapat dilihat bahwa pembentukan

gas mulai aktif terjadi pada hari ke 5. Melalui grafik dapat dilihat bahwa semakin tebal *biocover*, semakin kecil gas yang dihasilkan setiap harinya. Rata-rata pembentukan gas harian pada reaktor 4 sebesar 311 mL/hari, pada reaktor 5 sebanyak 57 mL/hari, dan pada reaktor 6 sebanyak 15 mL/hari.

Variasi yang diberikan pada *biocover* dengan sampah bekas TPA Keputih (reaktor 8 sampai 10) menunjukkan *trend* yang sama dengan variasi *biocover* menggunakan sampah TPA Benowo. Semakin tebal *biocover* semakin sedikit gas yang dihasilkan. Berbeda dengan penggunaan *biocover* sampah TPA Benowo, pembentukan gas secara aktif dimulai pada hari ke 8. Rata-rata pembentukan gas pada reaktor 8 adalah sebesar 19 mL/hari, pada reaktor 9 adalah sebesar 7 mL/hari dan pada reaktor 10 adalah sebesar 4 mL/hari.

Penggunaan *biocover* menggunakan sampah TPA baru mampu mereduksi biogas yang terbentuk sebesar 62,2% dengan ketinggian *biocover* 15 cm, 93,2% untuk ketinggian 20 cm dan 98,2% untuk ketinggian 30 cm. Penggunaan *biocover* menggunakan sampah TPA lama mampu mereduksi biogas yang terbentuk sebesar 97,7% dengan ketinggian *biocover* 15 cm, 99,0% untuk ketinggian 20 cm dan 99,5% untuk ketinggian 30 cm. Melihat hal ini maka dapat diketahui bahwa semakin tebal tanah penutup (*biocover*) dan semakin tua usia *biocover* maka semakin sedikit gas yang dilepaskan ke udara.

4.2.2.2 Kuantitas Gas Methan Harian pada Setiap Reaktor Uji

Gas yang paling banyak dihasilkan dari proses degradasi sampah adalah gas metan dan CO₂ selain ada komposisi gas lain pada *biogas*. Komposisi gas metan di awal pembentukan gas biasanya jauh lebih kecil dibandingkan dengan gas CO₂. Namun pada fase pembentukan metan, gas metan yang terbentuk akan jauh lebih tinggi dibanding gas lainnya.

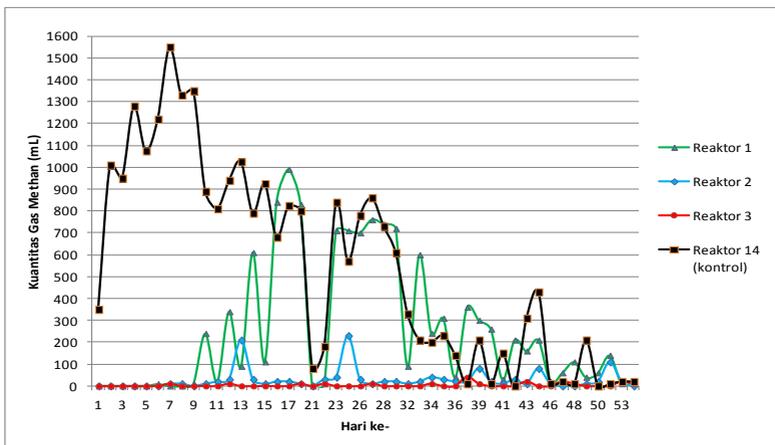
Melihat dari uji Gas *Chromatography* (GC) pada pengambilan sampel gas hari ke 19 dan 20, diketahui luasan area gas metan adalah 2,57% pada reaktor uji 4 (mewakili pengujian terhadap

sampah TPA Benowo) dan 0.59% pada reaktor uji 11 (mewakili pengujian terhadap sampah bekas TPA Keputih). Selain itu, pengujian juga dilakukan pada gas sampah tanpa tanah penutup pada reaktor uji 14 yang menunjukkan luasan area gas methan adalah 11,94% dan juga dilakukan pengujian dengan menggunakan gas methan murni yang diketahui luasan areanya adalah 88,51%. Untuk mengetahui banyaknya gas methan yang dihasilkan setiap reaktor, dapat dilakukan perhitungan berikut:

$$\text{Gas Methan (\%)} = \frac{\text{Luasan Area Reaktor}}{\text{Luasan Area Methan Murni}} \times 100\% \dots\dots 4.5$$

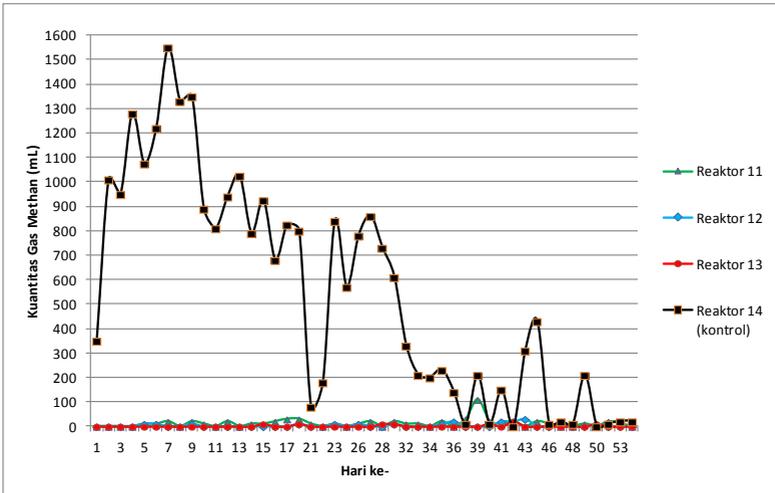
Sehingga dapat diketahui persentase gas methan pada reaktor 4 adalah 2,91%, pada reaktor 11 adalah 0,67% dan pada reaktor 14 adalah 13,49%. Melalui uji GC dapat dilihat bahwa gas yang dihasilkan pada reaktor dengan menggunakan *biocover* TPA Benowo mengandung gas methan lebih besar dari pada reaktor dengan menggunakan *biocover* TPA Keputih.

Selanjutnya dapat dianalisis pembentukan gas methan harian melalui grafik yang tertera pada Gambar 4.5 sampai Gambar 4.7.



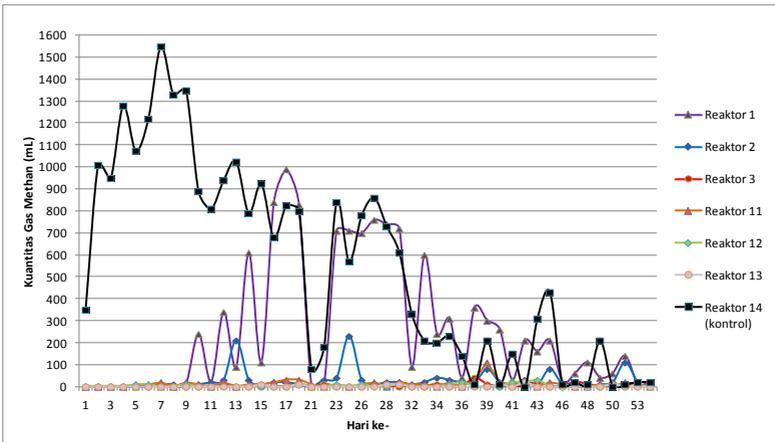
R1 = 15 cm *biocover* ; R2 = 20 cm *biocover* ; R3 = 30 cm *biocover* ; R14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.5 Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo



R11 = 15 cm *biocover* ; R12 = 20 cm *biocover* ; R13 = 30 cm *biocover* ; R14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.6 Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih



Gambar 4.7 Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA

Trend yang ditunjukkan dalam pembentukan gas metan harian adalah sama seperti pembentukan *biogas* harian. Mengacu pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dapat diketahui bahwa rata-rata pembentukan gas metan harian pada reaktor nomor 14 adalah sebesar 543 mL/hari. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata gas metan yang dihasilkan adalah sekitar 66% dari rata-rata biogas yang dihasilkan.

Berdasarkan variasi ketebalan *biocover* dengan sampah TPA Benowo (reaktor 1 sampai 3), dapat dilihat bahwa pembentukan gas metan mulai aktif terjadi pada hari ke 6. Dapat dilihat bahwa semakin tebal *biocover*, semakin kecil gas metan dihasilkan setiap harinya. Rata-rata pembentukan gas harian pada reaktor 1 sebesar 255 mL/hari, pada reaktor 2 sebanyak 28 mL/hari, dan pada reaktor 3 sebanyak 4 mL/hari.

Variasi ketebalan *biocover* dengan sampah bekas TPA Keputih (reaktor 11 sampai 13) juga menunjukkan semakin tebal *biocover* semakin sedikit gas yang dihasilkan. Pembentukan gas metan untuk *biocover* sampah TPA Keputih secara aktif dimulai pada hari ke 9. Rata-rata pembentukan gas pada reaktor 11 adalah sebesar 12 mL/hari, pada reaktor 12 adalah sebesar 4 mL/hari dan pada reaktor 13 adalah sebesar 2 mL/hari.

Penggunaan *biocover* dengan menggunakan sampah TPA Benowo mampu mereduksi gas metan yang terbentuk sebesar 53,1% dengan ketinggian *biocover* 15 cm, 94,8% untuk ketinggian 20 cm dan 99,2% untuk ketinggian 30 cm. Penggunaan *biocover* menggunakan sampah TPA Keputih mampu mereduksi gas metan yang terbentuk sebesar 97,8% dengan ketinggian *biocover* 15 cm, 99,2% untuk ketinggian 20 cm dan 99,7% untuk ketinggian 30 cm. Melihat hal ini maka dapat diketahui bahwa semakin tebal tanah penutup (*biocover*) dan semakin tua usia *biocover* maka semakin sedikit gas metan yang dilepaskan ke udara.

Pada grafik uji ditemukan penurunan produksi gas harian di hari ke-12 dan hari ke-21. Hal ini disebabkan karena adanya proses hujan buatan yang dilakukan pada hari ke-10 sehingga

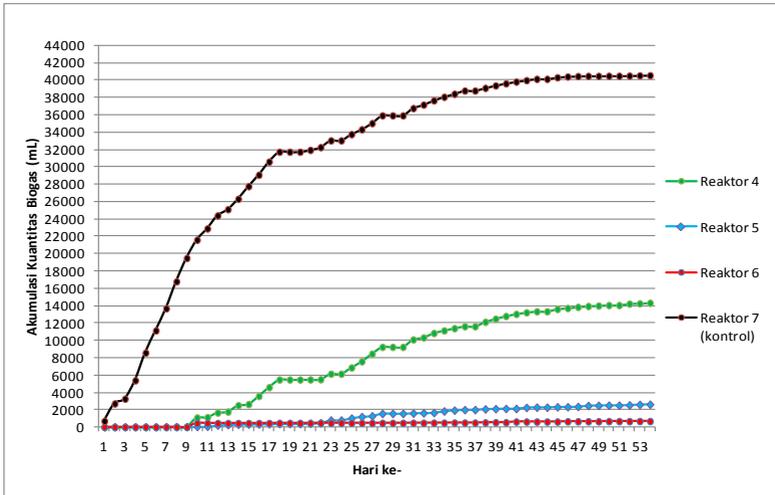
menyebabkan produksi gas tertanggu. Molekul gas terikat dengan molekul air sehingga proses pembentukan gas harus terhambat hingga kondisi ruang menjadi kembali stabil akibat aktivitas mikroorganisme (Menard *et al.*, 2009). Pada hari ke-21 produksi gas menurun tajam karena dilakukan sampling gas 2 hari sebelumnya. Selang uji gas dilepas dan gas dialirkan masuk kedalam balon *foil* untuk diambil sampel gas yang digunakan dalam uji GC. Selanjutnya, gas meningkat dan turun kembali seiring dengan produktivitas mikroorganisme (Einola, 2010).

4.2.3 Akumulasi Produksi Gas Harian pada Reaktor Uji

Setelah diketahui produksi gas harian pada setiap reaktor uji, maka dapat dihitung akumulasi produksi gas harian yang dihasilkan setiap reaktor. Produksi gas yang dihasilkan oleh setiap reaktor berbeda-beda. Hal ini dikarenakan aktivitas mikroorganisme yang berbeda-beda di setiap reaktor yang tidak dapat di kontrol dengan tepat. Perhitungan secara akumulasi ini dilakukan untuk mengetahui laju pembentukan gas yang terlihat dari kenaikan grafik yang terbentuk (Abdullah, 2017). Setelah akumulasi gas yang dihasilkan dapat dihitung, maka dapat diketahui kemampuan *biocover* dalam melakukan reduksi terhadap gas yang terbentuk pada *landfill*.

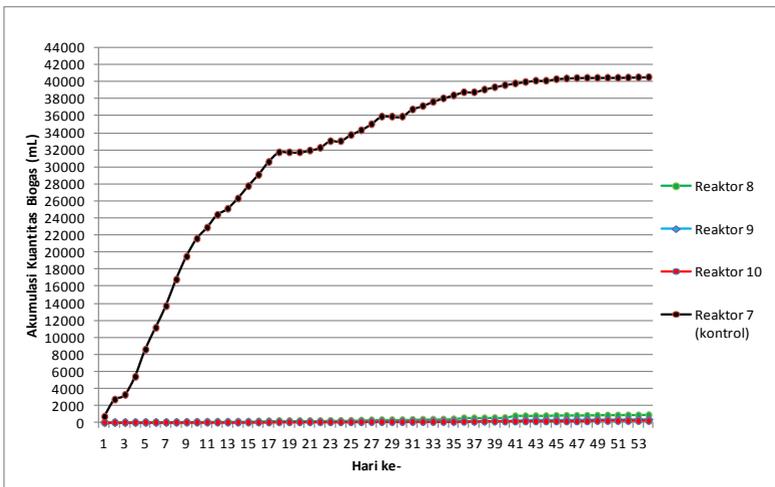
4.2.3.1 Akumulasi Produksi Biogas Harian pada Reaktor Uji

Produksi biogas pada tiap reaktor menunjukkan kapasitas udara yang dihasilkan oleh sampah. Akumulasi produksi biogas harian dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.10. Pada Gambar 4.8 dan 4.9 akan ditemukan 2 buah grafik. Grafik bagian atas menunjukkan perbandingan hasil reaktor dengan dan tanpa *biocover* sedangkan grafik bagian bawah adalah perbandingan hasil reaktor hanya dengan menggunakan *biocover*. Dengan demikian, maka perbedaan akumulasi pembentukan gas dapat dilihat dengan jelas.



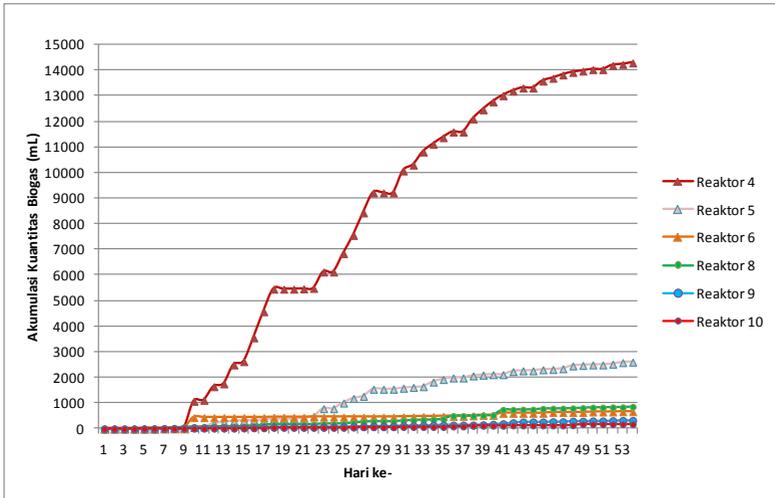
R4 = 15 cm *biocover* ; R5 = 20 cm *biocover* ; R6 = 30 cm *biocover* ; R7 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.8 Akumulasi Pembentukan Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo



R8 = 15 cm *biocover* ; R9 = 20 cm *biocover* ; R10 = 30 cm *biocover* ; R7 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.9 Akumulasi Pembentukan Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih



Keterangan :

R4 = *biocover* TPA Benowo 15 cm

R8 = *biocover* TPA Keputih 15 cm

R5 = *biocover* TPA Benowo 20 cm

R9 = *biocover* TPA Keputih 20 cm

R6 = *biocover* TPA Benowo 30 cm

R10 = *biocover* TPA Keputih 30 cm

Gambar 4.10 Akumulasi Pembentukan Biogas Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA

Pengujian pada variasi ketebalan *biocover* menggunakan sampah TPA Benowo menunjukkan hasil yang cukup signifikan. Reaktor 4 (*biocover* dengan ketebalan 15 cm) menunjukkan kemampuan *biocover* menahan gas hingga 64,72% dari total gas yang dihasilkan oleh sampah tanpa tanah penutup. Reaktor 5 (ketebalan *biocover* 20 cm) mampu menahan gas hingga 93,56%, dan reaktor 6 (ketebalan *biocover* 20 cm) mampu menahan gas hingga 98,35%.

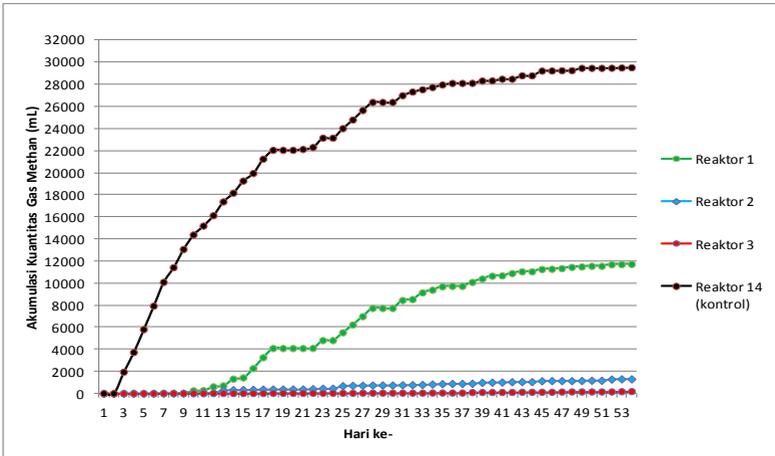
Pada variasi ketebalan *biocover* menggunakan sampah TPA Keputih menunjukkan kemampuan *biocover* menahan gas lebih besar. Reaktor 8 mampu menahan gas hingga 97,87% , reaktor 9 mampu menahan gas hingga 99,19%, dan reaktor 10 mampu menahan gas hingga 99,56%. Dengan demikian, diketahui bahwa semakin tebal *biocover* semakin banyak biogas yang ditahan.

Gambar 4.10 menunjukkan perbandingan 6 reaktor dengan 2 (dua) variasi umur *biocover* dan 3 (tiga) variasi ketebalan *biocover*. Berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa semakin tua usia sampah, semakin baik digunakan sebagai tanah penutup (*biocover*). Dan semakin tebal *biocover* akan lebih baik dalam menahan gas. Gas sangat perlu ditahan didalam tanah agar tidak terlepas secara langsung ke lingkungan sekitar sehingga terjadi pencemaran udara yang menyebabkan kerugian bagi kelangsungan hidup biota di sekitar *landfill*.

Secara teoritis, dapat dihitung total biogas yang dihasilkan adalah 5.981 L setiap reaktornya. Namun, berdasarkan pengamatan pada reaktor kontrol nomor 14 (tanpa tanah penutup) diketahui jumlah biogas yang dihasilkan adalah 40.530 mL (40,53 L). Kondisi eksisting ini masih sangat jauh bila dibandingkan dengan hasil perhitungan secara stoikiometri. Hal ini dikarenakan masih lamanya fase pembentukan gas yang dapat berlangsung selama lebih dari 10 tahun (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Penelitian hanya dilakukan selama 54 hari, hal ini tentu menjadi faktor utama jauhnya range pembentukan gas secara eksisting dan perhitungan stoikiometri.

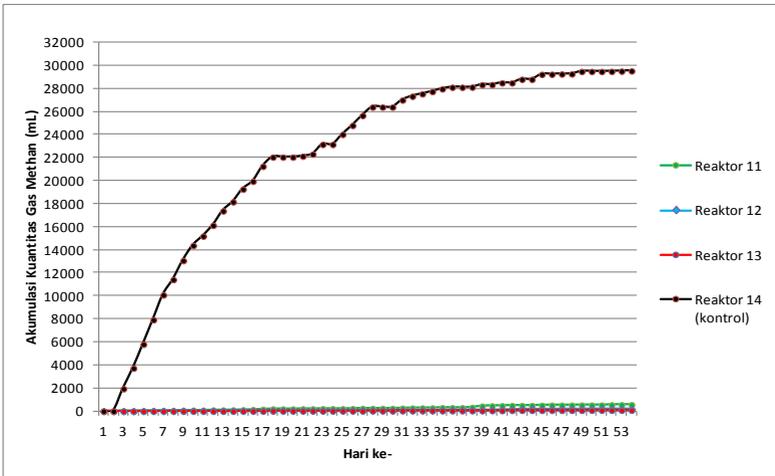
4.2.3.2 Akumulasi Produksi Gas Methan Harian Reaktor Uji

Gas methan yang terbentuk akan dihitung secara akumulasi dengan tujuan untuk mengetahui total gas methan yang terbentuk selama masa pengujian. Gas methan dihitung secara akumulasi dengan cara menambahkan hasil akumulasi gas di hari sebelumnya dengan hasil pengukuran gas di hari uji. Pengujian akumulasi gas methan akan sangat membantu dalam penentuan efektivitas usia sampah yang digunakan sebagai *biocover* dan pengaruh ketebalan terhadap kuantitas pelepasan gas methan secara langsung ke udara. Nantinya, hasil akumulasi gas methan pada masa akhir pengujian akan menentukan seberapa besar kemampuan tanah penutup mereduksi gas methan yang terbentuk karena aktivitas mikroorganisme terhadap sampah. Gambar 4.11 hingga 4.13 menunjukkan akumulasi gas methan yang terbentuk setiap harinya selama masa uji.



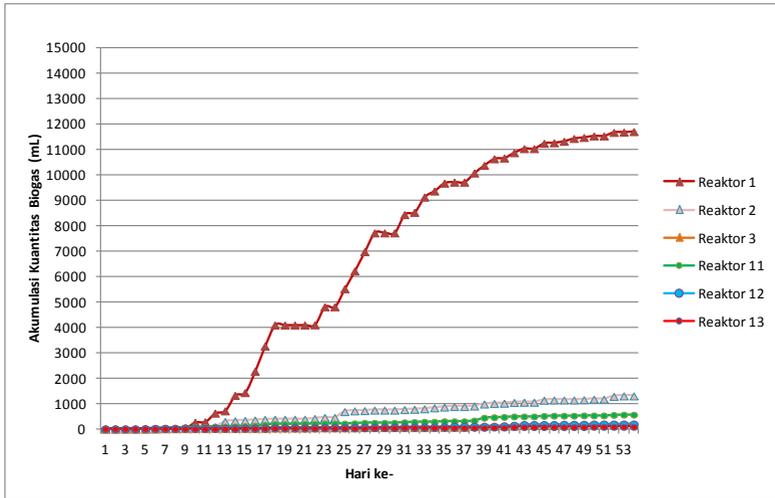
R1 = 15 cm *bio cover* ; R2 = 20 cm *bio cover* ; R3 = 30 cm *bio cover* ; R14 = Tanpa *bio cover*

Gambar 4.11 Akumulasi Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo



R11 = 15 cm *bio cover* ; R12 = 20 cm *bio cover* ; R13 = 30 cm *bio cover* ; R14 = Tanpa *bio cover*

Gambar 4.12 Akumulasi Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih



Keterangan :

R1 = *biocover* TPA Benowo 15 cm

R11 = *biocover* TPA Keputih 15 cm

R2 = *biocover* TPA Benowo 20 cm

R12 = *biocover* TPA Keputih 20 cm

R3 = *biocover* TPA Benowo 30 cm

R13 = *biocover* TPA Keputih 30 cm

Gambar 4.13 Akumulasi Pembentukan Gas Methan Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA

Pada Gambar 4.11 dan 4.12 dapat dilihat bahwa semakin tebal lapisan *biocover* maka semakin sedikit gas metan dihasilkan. Pada reaktor 1 (*biocover* dengan ketebalan 15 cm) menunjukkan kemampuan *biocover* menahan gas hingga 60,34% dari total gas yang dihasilkan oleh sampah tanpa tanah penutup. Reaktor 2 (ketebalan *biocover* 20 cm) mampu menahan gas hingga 95,60%, dan reaktor 3 (ketebalan *biocover* 20 cm) mampu menahan gas hingga 99,36%. Reaktor 11 mampu mereduksi gas metan hingga 98,10%, reaktor 12 mampu mengurangi gas hingga 99,36% dan reaktor 13 hingga 99,7%. Gambar 4.13 menunjukkan perbandingan 6 reaktor yang menunjukkan bahwa semakin usia *biocover* yang lebih tua dengan ketebalan *biocover* yang lebih tebal akan lebih baik dalam menahan gas agar tidak terlepas secara langsung ke lingkungan sekitar.

4.3 PENGARUH UMUR DAN KETEBALAN *BIOCOVER* TERHADAP PEMBENTUKAN *LEACHATE*

Pembentukan *leachate* pada tumpukan sampah dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kadar air sampah itu sendiri dan juga rembesan air hujan. Kadar air sampah dapat di kontrol dengan melakukan pengeringan terlebih dahulu sebelum melakukan penimbunan sampah, namun hal ini akan memperbesar biaya operasional dan juga ruang *landfill*. *Biocover* merupakan upaya untuk mengatasi rembesan air hujan kedalam tumpukan sampah sehingga tidak terjadi pembentukan *leachate* yang tinggi.

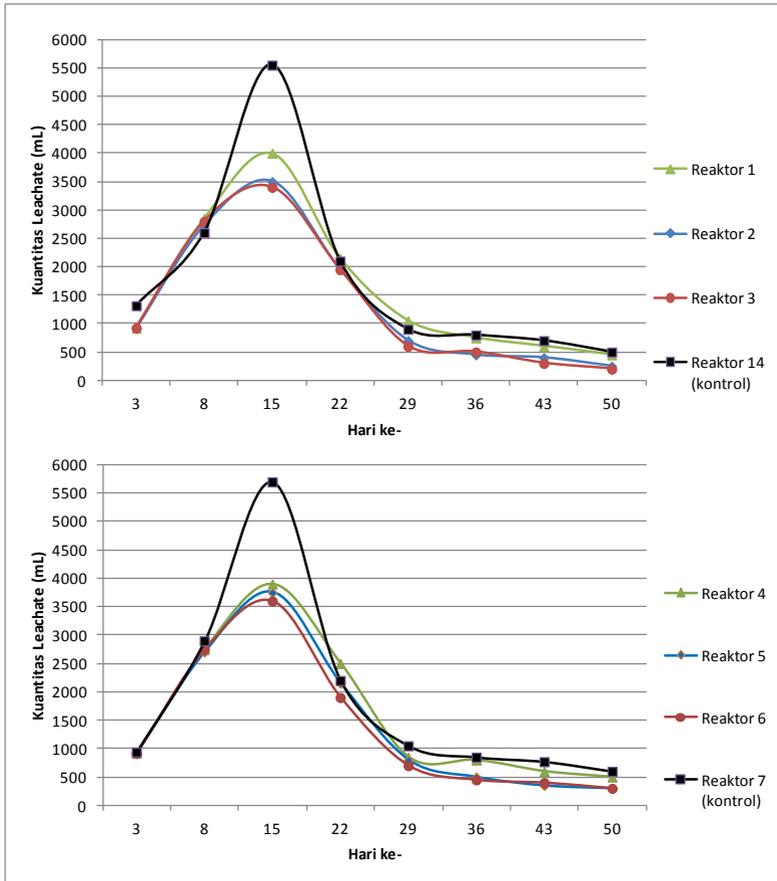
4.3.1 Produksi *Leachate* Mingguan pada Setiap Reaktor Uji

Setiap reaktor uji akan membentuk *leachate* akibat kadar air sampah dan juga hujan buatan yang dilakukan. Hujan buatan dilakukan sekali dengan mengikuti data curah hujan rata-rata tahunan Kota Surabaya tahun 2016 yaitu sebesar 100 mm ketinggian setiap luasan area setiap kali hujan. Dengan demikian, dapat dihitung jumlah air yang ditambahkan ke setiap reaktor dengan cara menghitung volume kemungkinan hujan terjadi satu kali. Volume air yang ditambahkan adalah sebanyak 6,25 L. Dengan melakukan hujan buatan, maka dapat diamati berapa banyak *leachate* yang terbentuk akibat penambahan air ini. Penambahan air dilaksanakan pada hari ke-11.

Saat dilakukan hujan buatan, terlihat tetesan air meresap kedalam tanah penutup secara langsung, namun pada reaktor 2, 3, 5, 6, dan 8 hingga 13 didapati genangan air selama 1 (satu) hari. Hal ini menunjukkan bahwa tanah penutup dengan *biocover* mampu melimpaskan air hujan yang akan masuk kedalam tanah.

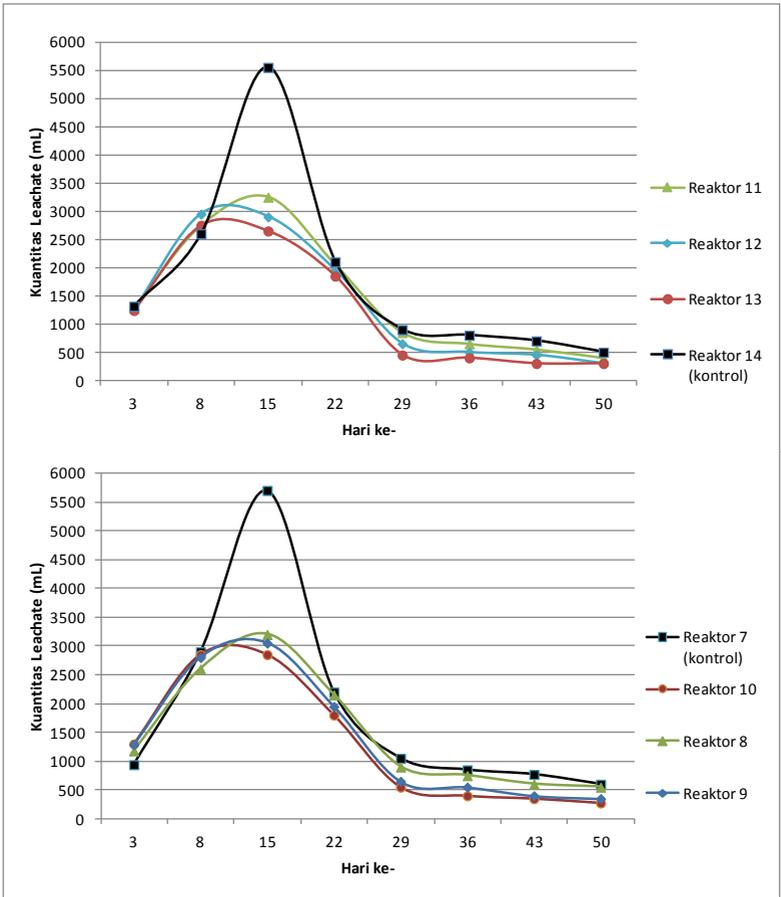
4.3.1.1 Kuantitas *Leachate* Mingguan pada Reaktor Uji

Kuantitas *leachate* dihitung dalam kurun waktu 1 (satu) minggu dikarenakan tingkat kesulitan sampling *leachate* yang cukup tinggi. Gambar 4.14 sampai dengan Gambar 4.16 menunjukkan kuantitas *leachate* mingguan yang diukur.



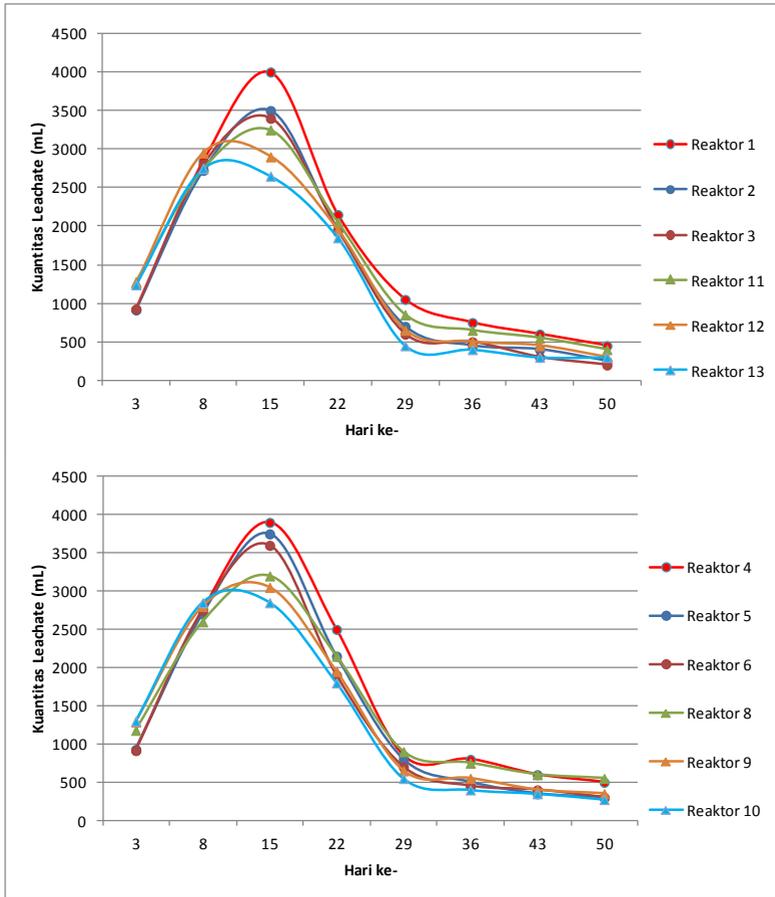
Keterangan :
 R1&4 = Ketebalan *biocover* 15 cm
 R2&5 = Ketebalan *biocover* 20 cm
 R3&6 = Ketebalan *biocover* 30 cm
 R7&14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.14 Pembentukan *Leachate* Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo



Keterangan :
 R8&11 = Ketebalan *biocover* 15 cm
 R9&12 = Ketebalan *biocover* 20 cm
 R10&13 = Ketebalan *biocover* 30 cm
 R7&14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.15 Pembentukan *Leachate* Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih



Keterangan :

- R1 & R4 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 15 cm
- R2 & R5 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 20 cm
- R3 & R6 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 30 cm
- R8 & R11 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 15 cm
- R9 & R12 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 20 cm
- R10 & R13 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 30 cm

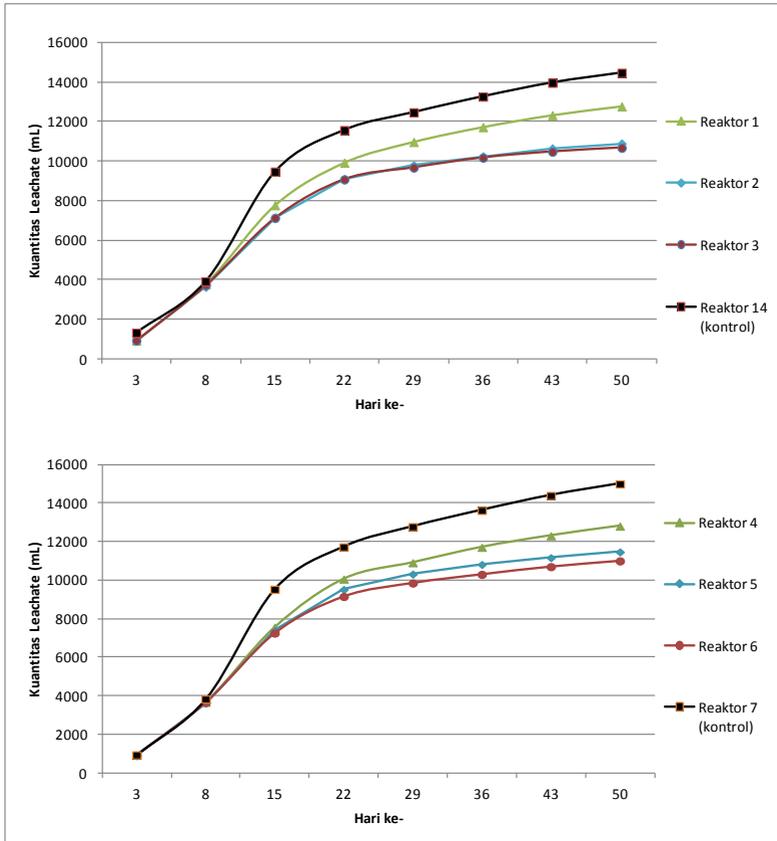
Gambar 4.16 Pembentukan *Leachate* Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA

Pengujian terhadap pembentukan *leachate* mingguan pada reaktor uji menunjukkan bahwa *biocover* mampu menahan air hujan. Pada Gambar 4.14 hingga Gambar 4.16 ditunjukkan 2 (dua) grafik dengan tujuan sebagai pembandingan pengujian (pengujian secara duplo). Perlakuan yang diberikan terhadap masing-masing reaktor adalah sama. Tidak ada hasil yang signifikan membedakan antara grafik atas dan bawah, hal ini menunjukkan semakin mendekati akurat hasil percobaan yang dilakukan.

Melalui grafik yang ditunjukkan, dapat dilihat bahwa *leachate* yang dihasilkan oleh reaktor nomor 7 dan 14 (tanpa tanah penutup) meningkat tajam setelah dilakukan hujan buatan. Hal ini menunjukkan bahwa air hujan masuk dan menyebabkan kuantitas *leachate* bertambah. Untuk reaktor lain, ditemukan kenaikan produksi *leachate* walaupun kenaikan grafik tidak tajam. Kenaikan grafik untuk *biocover* menggunakan sampah TPA Benowo lebih tinggi dibandingkan dengan TPA Keputih dan pada reaktor 1 sampai 6 lebih tinggi dibandingkan 8 sampai 13. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tua usia dan semakin tebal *biocover* semakin baik untuk menahan air hujan.

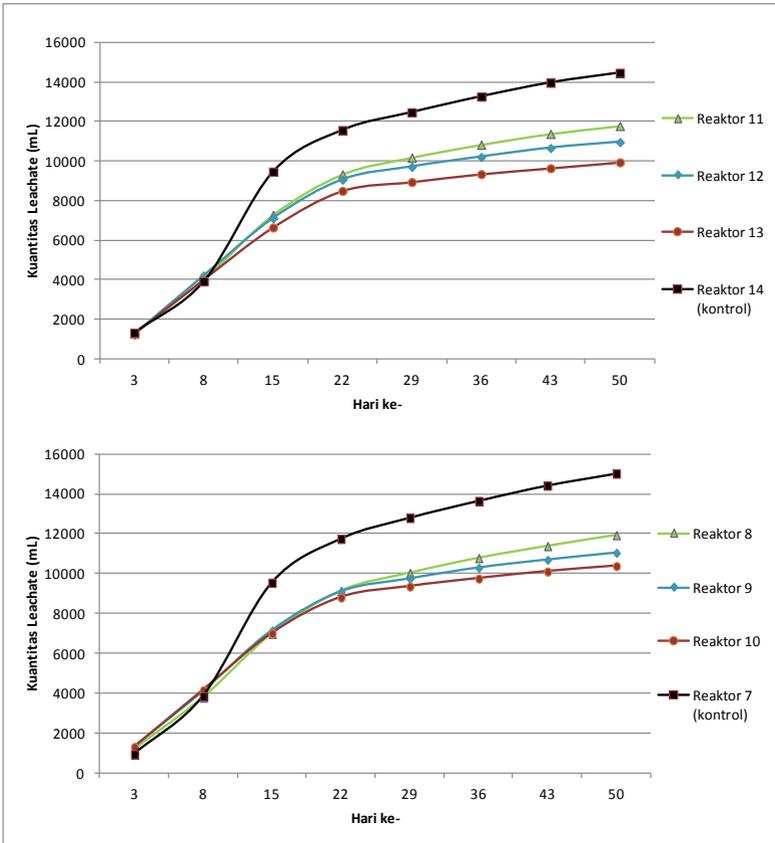
4.3.1.2 Akumulasi Produksi *Leachate* Mingguan pada Setiap Reaktor Uji

Akumulasi pembentukan *leachate* dibutuhkan untuk mengetahui total *leachate* yang dihasilkan selama masa pengujian. Dengan mengetahui total *leachate* yang dihasilkan, maka dapat diketahui efisiensi tanah penutup dalam menahan *leachate* yang dihasilkan. Akumulasi produksi *leachate* didapatkan dengan menjumlahkan seluruh *leachate* yang dihasilkan pada hari sebelum hingga pada hari sampling. Dengan penambahan secara berkala tersebut, dapat diketahui persentasi kemampuan tanah penutup dalam menahan air hujan. Grafik akumulasi produksi *leachate* pada setiap reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.17 hingga Gambar 4.19.



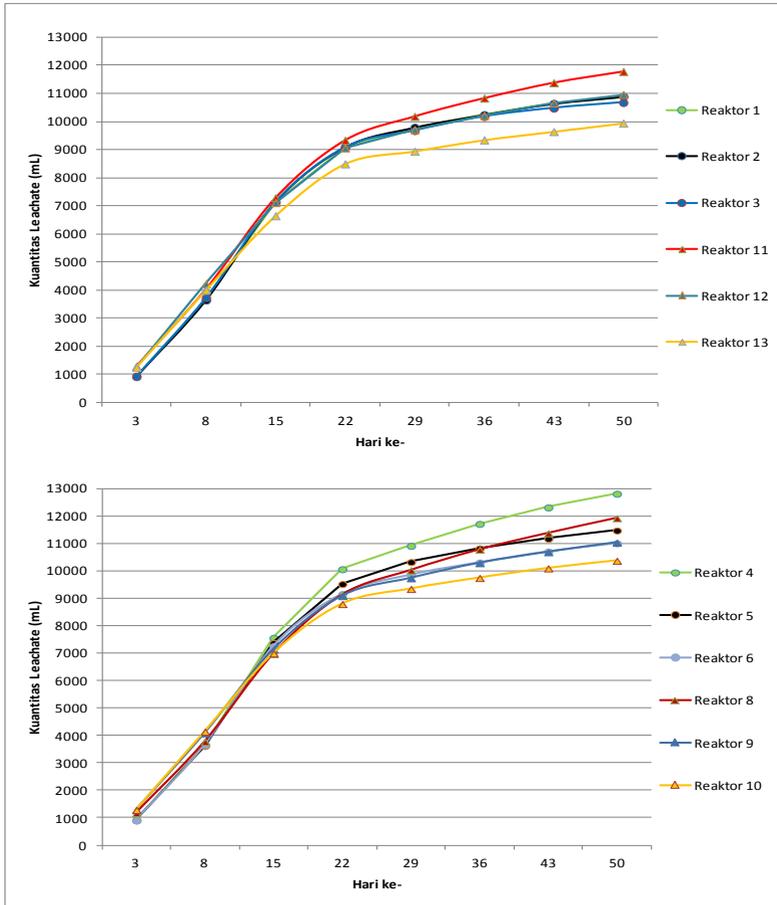
Keterangan :
 R1 & R4 = Ketebalan *biocover* 15 cm
 R2 & R5 = Ketebalan *biocover* 20 cm
 R3 & R6 = Ketebalan *biocover* 30 cm
 R7&14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.17 Akumulasi Pembentukan *Leachate* Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo



Keterangan :
 R8 & R11 = Ketebalan *biocover* 15 cm
 R9 & R12 = Ketebalan *biocover* 20 cm
 R10 & R13 = Ketebalan *biocover* 30 cm
 R7&14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.18 Akumulasi Pembentukan *Leachate* Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih



Keterangan :

- R1 & R4 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 15 cm
- R2 & R5 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 20 cm
- R3 & R6 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 30 cm
- R8 & R11 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 15 cm
- R9 & R12 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 20 cm
- R10 & R13 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 30 cm

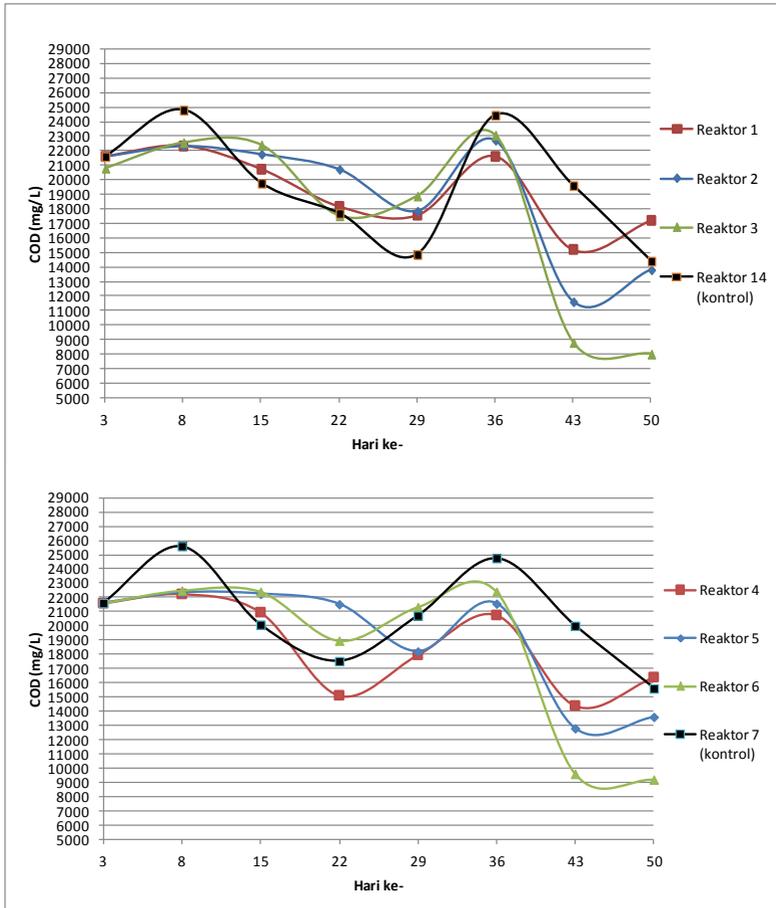
Gambar 4.19 Akumulasi Pembentukan *Leachate* Mingguan Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA

Grafik menunjukkan hal yang sama saat pengujian gas. Semakin tua usia sampah, dan semakin tebal biocover, semakin sedikit *leachate* yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa *biocover* memiliki nilai porositas yang cukup baik untuk memerangkap air hujan sehingga *leachate* tidak terbentuk secara signifikan.

Melalui grafik dapat diketahui pada variasi penggunaan *biocover* menggunakan sampah TPA Benowo dengan ketebalan 15 cm mampu mengurangi timbulan *leachate* hingga 14,59%; ketebalan 20 cm mampu mengurangi hingga 24,71%; dan hingga 26,62% untuk ketebalan 30 cm. Untuk variasi penggunaan *biocover* menggunakan sampah TPA Keputih dengan ketebalan 15 cm mampu mengurangi timbulan *leachate* hingga 20,52%; ketebalan 20 cm mampu mengurangi hingga 26,45%; dan hingga 31,28% untuk ketebalan 30 cm.

4.3.2 Pengaruh Umur dan Ketebalan *Biocover* Terhadap Kandungan COD *Leachate*

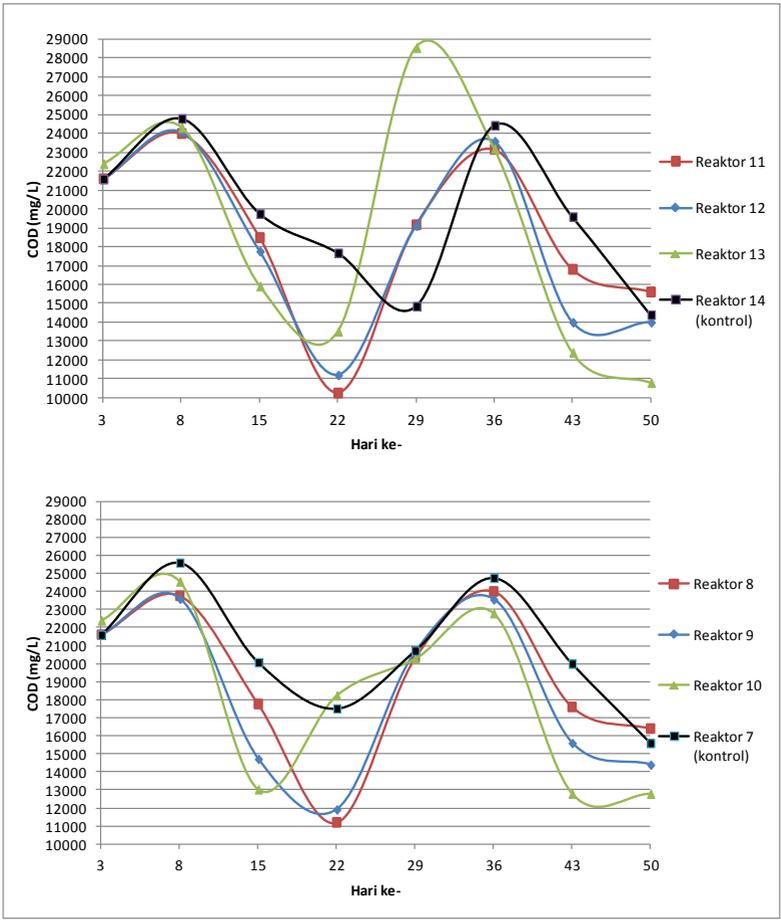
Kandungan COD pada *leachate* menunjukkan kandungan bahan organik yang terkandung di dalam *leachate* yang dihasilkan oleh setiap reaktor. Komposisi kandungan bahan organik dapat menunjukkan potensi terurainya bahan organik oleh mikroorganisme (Friadi *et al.*, 2007). Kandungan organik dalam sampah dapat menurun seiring dengan meningkatnya produktivitas mikroorganisme dalam menguraikan zat organik. Gambar 4.20 hingga Gambar 4.22 akan menunjukkan grafik nilai COD pada *leachate* yang dihasilkan oleh setiap reaktor. Pengkondisian hujan buatan juga akan menyebabkan penurunan nilai COD akibat resapan air hujan yang masuk melalui tanah penutup dan bereaksi dengan *leachate* yang dihasilkan oleh sampah.



Keterangan :

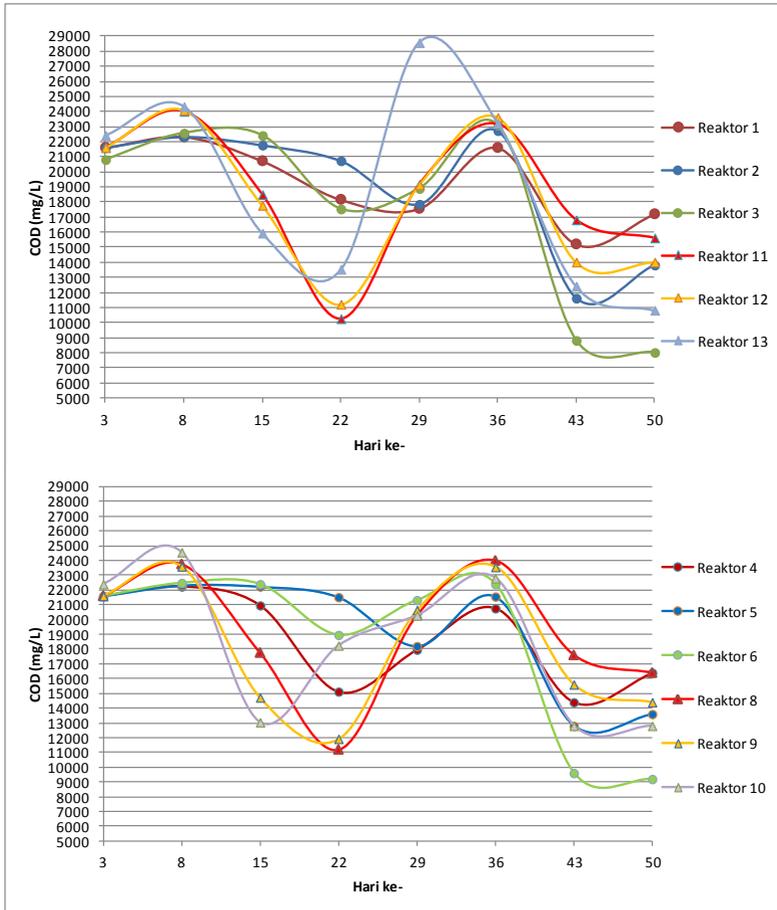
- R1 & R4 = Ketebalan *biocover* 15 cm
- R2 & R5 = Ketebalan *biocover* 20 cm
- R3 & R6 = Ketebalan *biocover* 30 cm
- R7 & R 14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.20 Kandungan COD *Leachate* Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo



Keterangan :
 R8 & R11 = Ketebalan *biocover* 15 cm
 R9 & R12 = Ketebalan *biocover* 20 cm
 R10 & R13 = Ketebalan *biocover* 30 cm
 R7 & R 14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.21 Kandungan COD *Leachate* Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih



Keterangan :

- R1 & R4 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 15 cm
- R2 & R5 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 20 cm
- R3 & R6 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 30 cm
- R8 & R11 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 15 cm
- R9 & R12 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 20 cm
- R10 & R13 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 30 cm

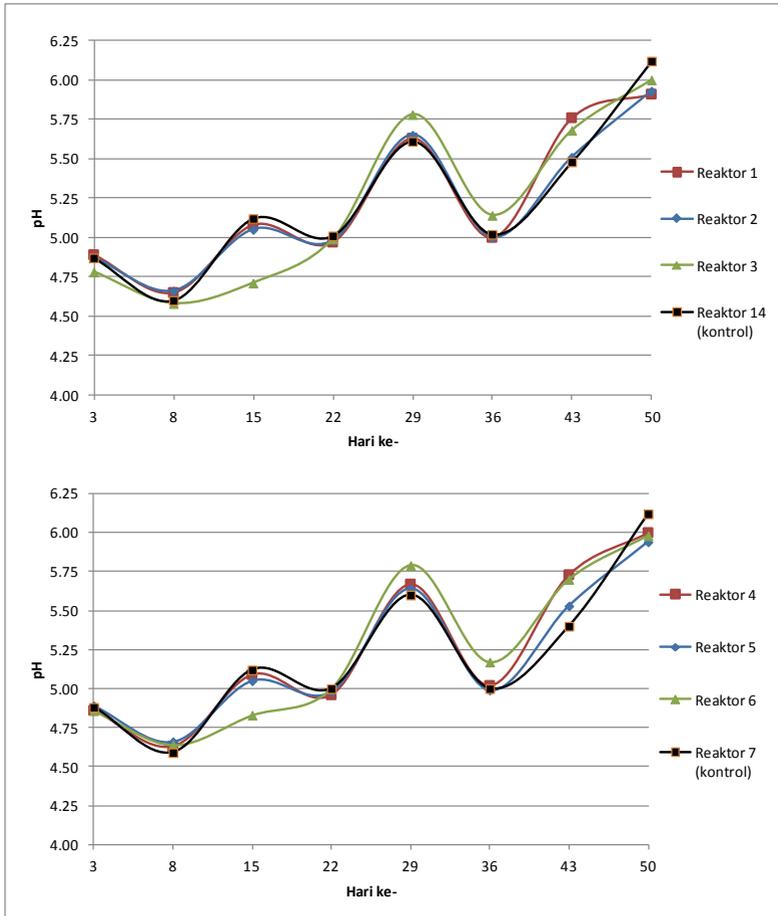
Gambar 4.22 Kandungan COD *Leachate* Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA

Melalui grafik dapat diketahui bahwa setelah dilakukan hujan buatan, COD *leachate* mengalami penurunan, namun pada minggu ke-4 kadar COD kembali naik dan kembali turun pada minggu ke-6. Penurunan nilai COD dikarenakan adanya material air hujan yang masuk melalui tanah penutup dan tercampur dengan kandungan *leachate* pada sampah. Kandungan organik pada tanah penutup akan ikut larut dikarenakan terbawa oleh partikel air hujan, sehingga menyebabkan nilai COD menurun secara drastis (Anindita *et al.*, 2013).

Setelah dilakukan hujan buatan, kandungan COD pada reaktor dengan menggunakan *biocover* sampah TPA Keputih turun sangat drastis. Hal ini dikarenakan kandungan sampah TPA Keputih yang telah terurai lebih banyak dibandingkan dengan sampah TPA Benowo, sehingga partikel air hujan lebih mudah mengikat partikel *biocover*. Namun, kadar COD perlahan naik di setiap minggunya dan kembali mengalami penurunan pada minggu ke-6. Di akhir penelitian, justru diketahui bahwa reaktor yang berisi *biocover* menggunakan sampah TPA Benowo menunjukkan nilai COD terendah dibandingkan dengan reaktor yang lain. Hal ini terjadi karena air yang tertahan di tanah telah turun bercampur dengan *leachate* yang terkandung pada sampah sehingga penurunan nilai COD terjadi secara drastis.

4.3.3 Pengaruh Umur dan Ketebalan *Biocover* Terhadap Kandungan pH *Leachate*

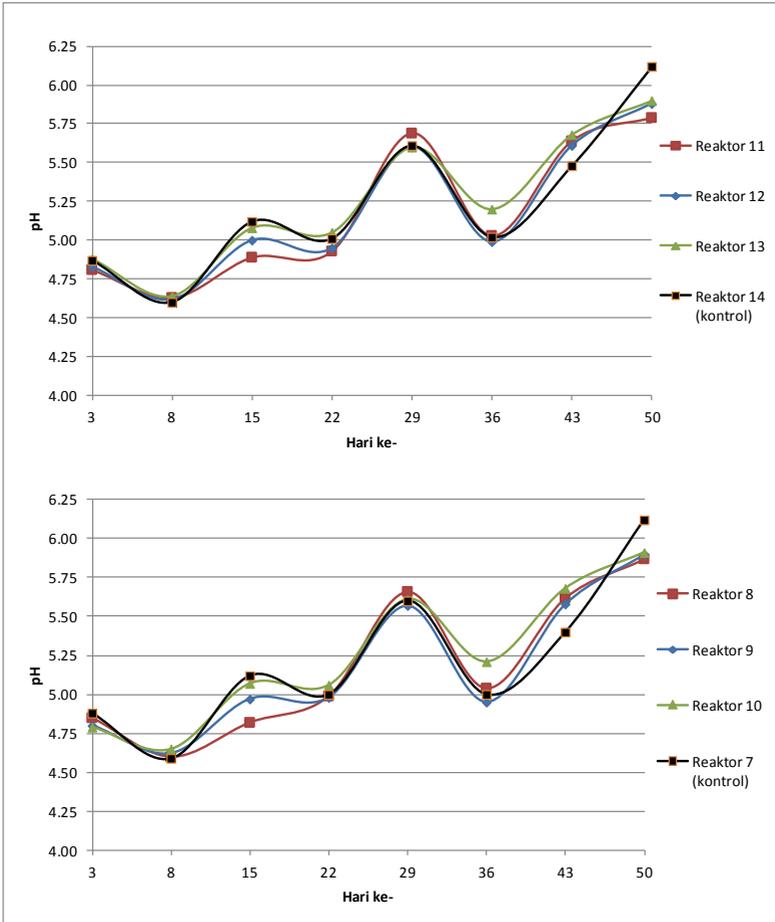
Derajat keasaman atau biasa disebut dengan pH merupakan parameter yang sangat penting untuk mengetahui kondisi bakteri metanotrofik dalam melakukan penguraian terhadap gas metan (Yang, *et al.*, 2015). Mikroorganisme melakukan metabolisme dan produktivitasnya pada pH 6,5 sampai dengan 8,5. Nilai pH yang rendah atau bahkan terlampaui tinggi akan menyebabkan produktivitas mikroorganisme dalam melakukan penguraian gas metan menjadi terganggu (Pedersen, 2010). Untuk mengetahui kadar keasaman (pH) *leachate* yang dihasilkan oleh sampah dapat dilihat Gambar 4.23 sampai dengan Gambar 4.25. pengukuran pH dilakukan setiap satu minggu sekali, sama seperti pengukuran kadar *leachate* sampah yang lainnya.



Keterangan :

- R1 & R4 = Ketebalan *biocover* 15 cm
- R2 & R5 = Ketebalan *biocover* 20 cm
- R3 & R6 = Ketebalan *biocover* 30 cm
- R7 & R 14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.23 Kadar pH *Leachate* Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Benowo



Keterangan :

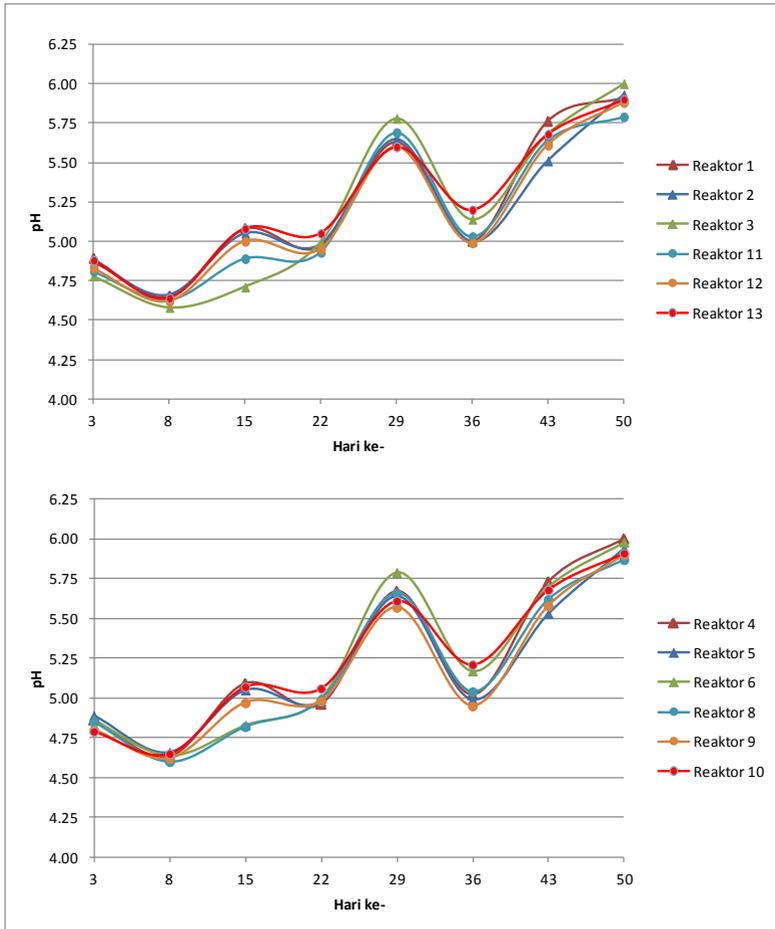
R8 & R11 = Ketebalan *biocover* 15 cm

R9 & R12 = Ketebalan *biocover* 20 cm

R10 & R13 = Ketebalan *biocover* 30 cm

R7 & R 14 = Tanpa *biocover*

Gambar 4.24 Kadar pH *Leachate* Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA Keputih



Keterangan :

- R1 & R4 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 15 cm
- R2 & R5 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 20 cm
- R3 & R6 = Ketebalan *biocover* TPA Benowo 30 cm
- R8 & R11 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 15 cm
- R9 & R12 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 20 cm
- R10 & R13 = Ketebalan *biocover* TPA Keputih 30 cm

Gambar 4.25 Kadar pH *Leachate* Harian Variasi Tanah Penutup dengan Sampah TPA

Melalui grafik pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 dapat diketahui bahwa kondisi pH pada seluruh reaktor relatif sama yaitu dalam kondisi asam. Kondisi pH yang asam dapat terjadi akibat sebagian besar substrat sampah merupakan organik. Substrat dengan komposisi organik yang tinggi akan memiliki nilai pH yang lebih rendah (Zakardas *et al.*, 2015). Hal lain yang mempengaruhi rendahnya nilai pH adalah akibat adanya penumpukan asam organik yang mengakibatkan adanya penguraian komposisi organik pada sampah. Namun, hal terbesar yang menyebabkan nilai pH rendah adalah karena banyaknya mikroorganisme *acidogen* dan *acetogen* melebihi mikroorganisme methanogen. Kondisi pH yang rendah ini menyebabkan peningkatan populasi bakteri *acidogen* yang menyebabkan terproduksinya inhibitor yang mengganggu keseimbangan populasi mikroorganisme sehingga penguraian padatan menjadi terhambat (Arsova, 2010). Nilai pH berubah terjadi karena adanya dekomposisi material organik menghasilkan senyawa amonia dan asam organik. senyawa amonia menyebabkan nilai pH naik yang berarti kondisi bahan uji akan mendekati nilai basa, sedangkan asam organik menyebabkan nilai pH menjadi turun yang berarti kondisi bahan uji akan mendekati nilai asam (Mustami *et al.*, 2015).

Setelah dilakukan proses hujan buatan, nilai pH berangsur meningkat. Peningkatan pH tidak terjadi secara kontinyu, namun terjadi secara fluktuatif dimana keadaan pH naik dan turun pada setiap minggu pengujian pH. Namun demikian, walaupun terjadi kondisi fluktuatif pada nilai pH, dapat diamati pada Gambar 4.25 bahwa *trend* kondisi pH adalah naik. Peningkatan pH menunjukkan terjadinya peningkatan aktivitas mikroorganisme dalam melakukan pendegradasian bahan organik. Kondisi ini juga menunjukkan bahwa peristiwa pengubahan bahan organik karbon menjadi asam organik tidak dominan dan terjadi pembentukan amonium yang meningkatkan pH (Kristanto *et al.*, 2014). Kondisi peningkatan pH menunjukkan peningkatan pembentukan amonium pada reaktor uji (Sari *et al.*, 2014). Hal ini juga menjadi penyebab mengapa kondisi gas methan cenderung turun pada kisaran hari ke-40.

Peningkatan pH yang terjadi disebabkan oleh terbentuknya senyawa bikarbonat (H_2CO_3) dari reaksi CO_2 dan air hasil dekomposisi bahan organik. Unsur-unsur penyusun H_2CO_3 adalah HCO_3^- dan H^+ yang merupakan senyawa buffer yaitu senyawa yang memiliki daya sangga pH. Pada kondisi keasaman yang tinggi, akan dilepaskan OH^- untuk menetralkannya, begitu pula sebaliknya (Sari *et al.*, 2016).

Proses nitrifikasi yang terjadi juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi peningkatan pH. Nitrifikasi adalah proses oksidasi amonia (NH_3) yang merupakan N-organik tanah menjadi nitrit (NO_2^-). Kemudian NO_2^- diubah menjadi nitrat (NO_3^-). Bersamaan dengan proses tersebut, ion H^+ terlepas sehingga kandungannya dalam tanah berkurang dan digantikan oleh kation-kation basa (pertukaran ion). Hal ini mengakibatkan kadar keasaman tanah menurun, artinya pH tanah menjadi meningkat (Atagana, 2008).

4.4 PENELITIAN PEMBANDING KETEBALAN OPTIMUM

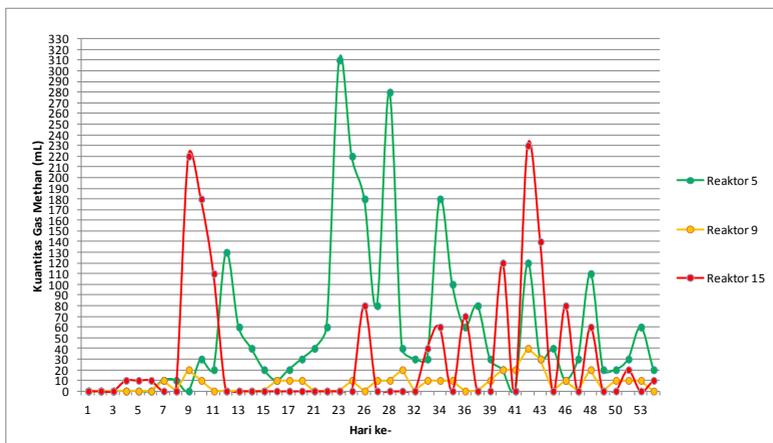
Melalui penjabaran pada sub-sub bab sebelumnya, dapat diketahui bahwa ketebalan *biocover* paling optimum adalah pada ketebalan 20 cm. Untuk mengetahui efektivitas *biocover* bila dibandingkan dengan tanah penutup biasa maka dilakukan pengujian lanjutan rangkaian reaktor dengan menggunakan tanah penutup biasa. Akan dilakukan pengujian terhadap 2 (dua) reaktor dengan menggunakan tanah penutup biasa setebal 20 cm. Reaktor pertama (dengan kode R15) merupakan reaktor dengan menggunakan air biasa sebagai penampung biogas dan reaktor lainnya (dengan kode R16) merupakan reaktor dengan menggunakan larutan KOH dan BTB sebagai penampung gas metan. Selanjutnya dilakukan penelitian dan pemberian perilaku uji yang sama seperti reaktor lainnya (telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya).

4.4.1 Produksi Gas Harian Ketebalan Optimum

Sama seperti penelitian yang sudah dilakukan, gas yang dihasilkan pada tiap reaktor akan dicatat setiap hari untuk mengetahui efektivitas *biocover*,

4.4.1.1 Kuantitas Biogas Harian Ketebalan Optimum

Kuantitas biogas diperlukan untuk mengetahui manakah yang lebih baik dalam mereduksi biogas, apakah *biocover* atau tanah penutup biasa. Gambar 4.26 menunjukkan kuantitas biogas harian reaktor uji dengan ketebalan optimum (20 cm).



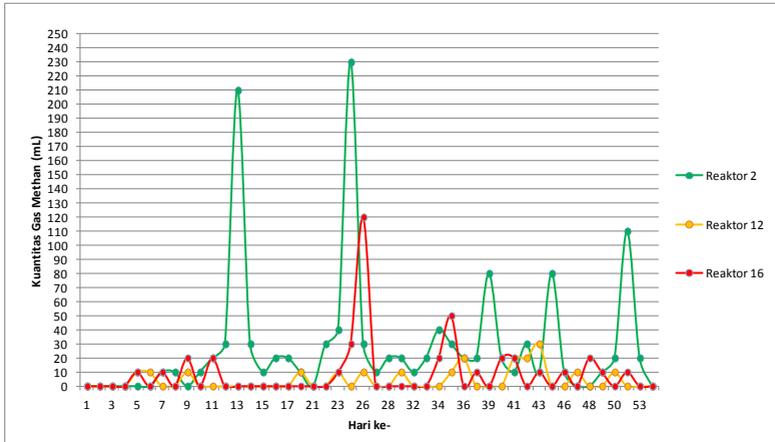
R5 = *biocover* TPA Benowo; R9 = *biocover* TPA Benowo; R15 = tanah penutup biasa

Gambar 4.26 Biogas Harian Ketebalan Optimum

Melaui grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.26, biogas pada reaktor uji nomor 9 menunjukkan kuantitas yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan reaktor 16. Namun, gas yang dihasilkan pada reaktor uji 5 lebih tinggi dibandingkan dengan reaktor 16. Rata-rata pembentukan biogas pada reaktor 5 adalah sebesar 57 mL/hari pada reaktor 9 sebesar 7 mL/hari dan pada reaktor 16 sebesar 33 mL/hari. Hal ini menunjukkan bahwa dengan ketebalan 20 cm *biocover* dengan menggunakan sampah TPA lama lebih efektif dalam mereduksi gas metan dibandingkan dengan tanah penutup biasa. Hal ini disebabkan karena tanah penutup biasa tidak memiliki porositas agregat yang cukup untuk menyimpan biogas dalam tanah dan mereduksinya menjadi gas lain yang lebih mudah diterima oleh lingkungan.

4.4.1.2 Kuantitas Gas Methan Harian Ketebalan Optimum

Kuantitas gas metan digunakan sebagai pembandingan efektivitas tanah penutup atau *biocover* bila diaplikasikan pada *landfill*. Gambar 4.27 menunjukkan kuantitas gas metan harian reaktor uji dengan ketebalan optimum (20 cm).



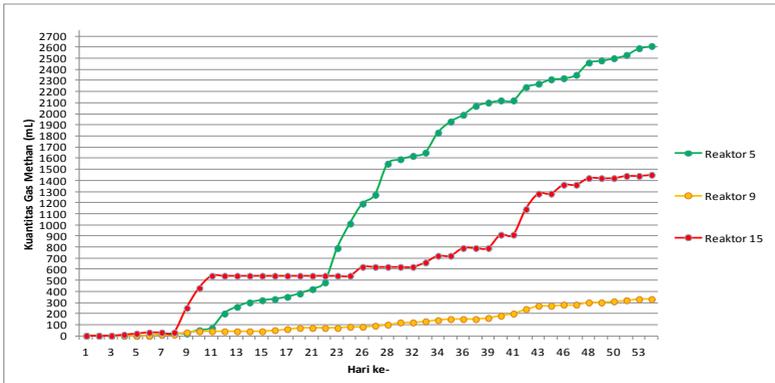
R2 = *biocover* TPA Benowo; R12 = *biocover* TPA Benowo; R16 = tanah penutup biasa

Gambar 4.27 Pembentukan Gas Methan Ketebalan Optimum

Sama halnya seperti kuantitas biogas, melalui grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.26 dapat dilihat kuantitas gas metan harian pada reaktor uji. Rata-rata pembentukan gas metan pada reaktor 2 adalah sebesar 28 mL/hari pada reaktor 12 sebesar 4 mL/hari dan pada reaktor 16 sebesar 9 mL/hari. Hal ini menunjukkan bahwa dengan ketebalan 20 cm *biocover* dengan menggunakan sampah TPA lama lebih efektif dalam mereduksi gas metan dibandingkan dengan tanah penutup biasa. Kondisi ini dipengaruhi oleh kondisi agregat tanah penutup lama yang mampu menampung gas di dalam pori tanah. Selain itu, bakteri pengurai metana pada *biocover* juga sangat membantu dalam proses pendegradasian gas metan.

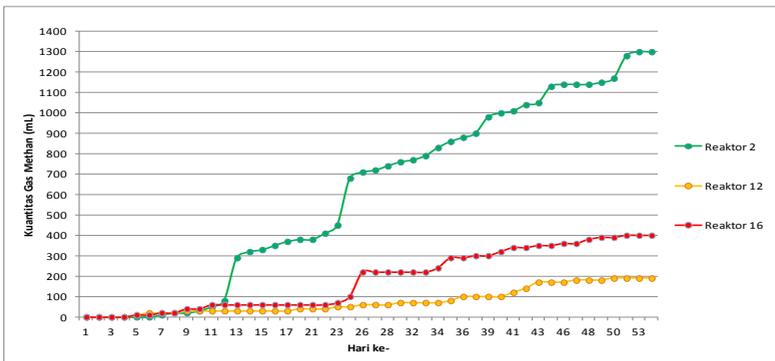
4.4.2 Akumulasi Produksi Gas Harian Ketebalan Optimum

Produksi biogas dan gas metan pada tiap reaktor menunjukkan kapasitas udara yang dihasilkan oleh sampah. Akumulasi produksi biogas dan gas metan harian dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.29.



R5 = *biocover* TPA Benowo; R9 = *biocover* TPA Benowo; R15 = tanah penutup biasa

Gambar 4.28 Akumulasi Biogas Harian Ketebalan Optimum



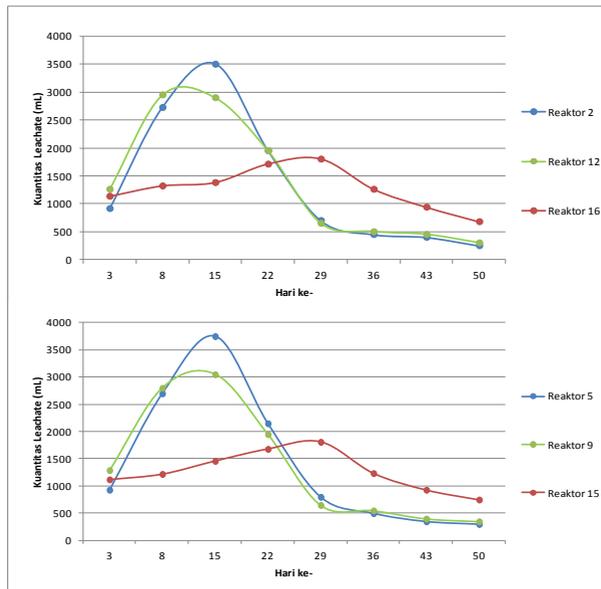
R2 = *biocover* TPA Benowo; R12 = *biocover* TPA Benowo; R16 = tanah penutup biasa

Gambar 4.29 Akumulasi Gas Methan Harian Ketebalan Optimum

Melalui grafik yang tertera pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.29 dapat dilihat bahwa sampah TPA lama lebih efektif untuk digunakan sebagai tanah penutup dibandingkan dengan penggunaan tanah penutup biasa. Namun, dengan ketebalan yang sama, sampah TPA baru tidak mereduksi gas metan dan biogas lebih banyak daripada penggunaan tanah penutup biasa. Hal ini menunjukkan bahwa sampah TPA baru kurang efektif bila digunakan sebagai *biocover* bila dilihat dari kemampuannya mereduksi biogas dan gas metan.

4.4.3 Kuantitas *Leachate* Mingguan Ketebalan Optimum

Kuantitas *leachate* dihitung dalam kurun waktu 1 (satu) minggu. Gambar 4.30 menunjukkan kuantitas *leachate* mingguan yang diukur.

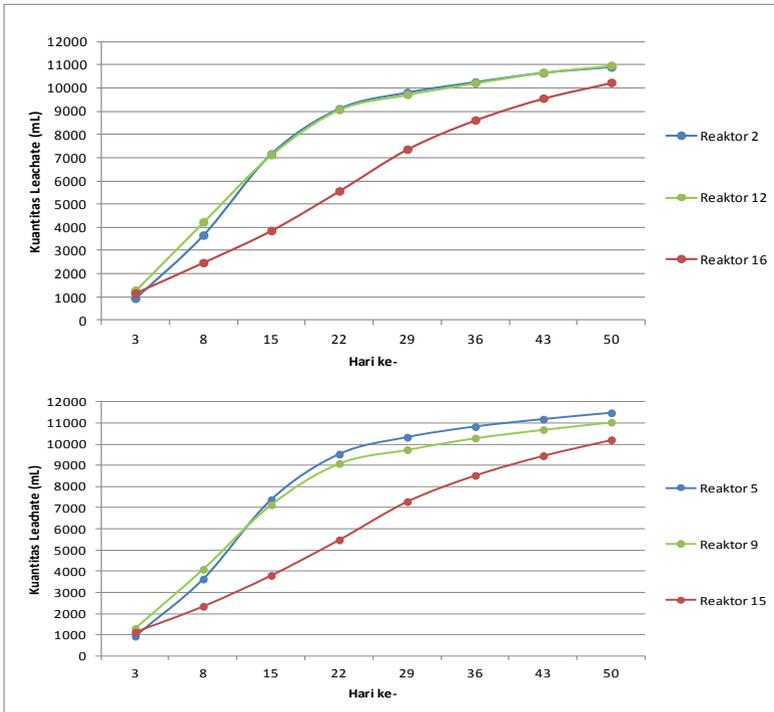


R2&5 = *biocover* TPA Benowo; R12&9 = *biocover* TPA Benowo;
R15&16 = tanah penutup biasa

Gambar 4.30 Pembentukan *Leachate* Ketebalan Optimum

4.4.4 Akumulasi Produksi *Leachate* Ketebalan Optimum

Produksi *leachate* harus dihitung secara akumulasi untuk mengetahui kuantitas *leachate* yang dihasilkan dalam suatu periode uji. Grafik akumulasi produksi *leachate* pada setiap reaktor dapat dilihat pada Gambar 4.31.



R2&5 = *biocover* TPA Benowo; R12&9 = *biocover* TPA Benowo;
R15&16 = tanah penutup biasa

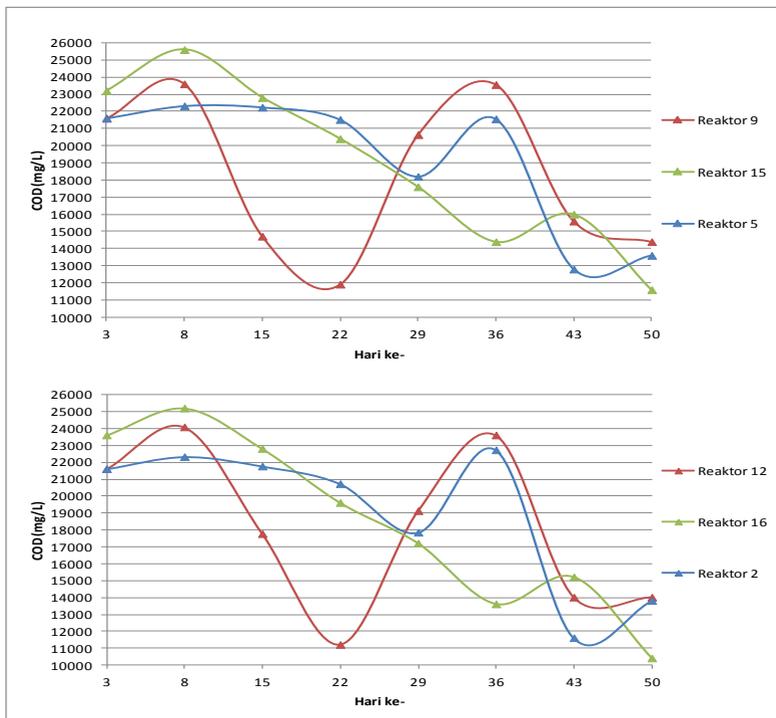
Gambar 4.31 Akumulasi *Leachate* Ketebalan Optimum

Berdasarkan Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 dapat diketahui bahwa kuantitas *leachate* yang dihasilkan dengan penggunaan *biocover* relatif lebih tinggi daripada penggunaan tanah penutup biasa. Hal ini dikarenakan jenis tanah penutup yang merupakan

tanah lempung yang memiliki nilai permeabilitas tanah yang sangat kecil. Tanah dengan nilai permeabilitas yang kecil cenderung tidak menyerap air dan melimpaskannya ke bagian dataran yang lebih rendah (Siregar *et al.*, 2013). Dalam hal pembentukan *leachate*, penggunaan tanah penutup TPA biasa dinilai lebih baik dibandingkan dengan penggunaan *biocover*.

4.4.5 Kandungan COD *Leachate* pada Ketebalan Optimum

Grafik kandungan COD mingguan pada *leachate* dapat dilihat pada Gambar 4.32.



R2&5 = *biocover* TPA Benowo; R12&9 = *biocover* TPA Benowo;
R15&16 = tanah penutup biasa

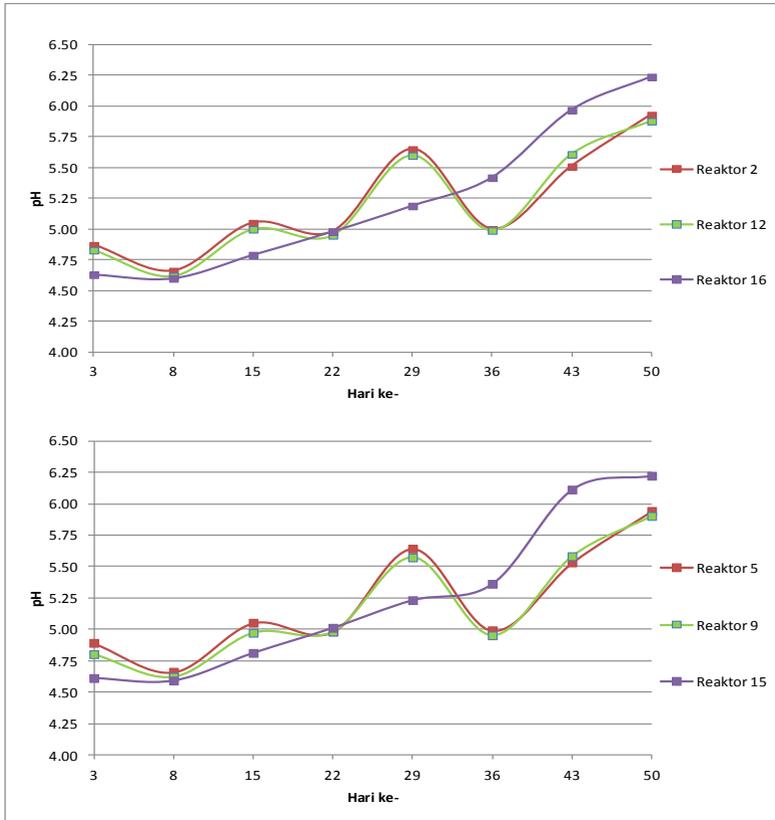
Gambar 4.32 COD *Leachate* pada Ketebalan Optimum

Melalui Gambar 4.32 dapat dilihat bahwa kandungan COD pada reaktor dengan menggunakan tanah penutup biasa relatif lebih stabil mengarah pada penurunan konsentrasi COD. Setelah dilakukan hujan buatan pada hari ke-10, konsentrasi COD pada reaktor dengan menggunakan tanah penutup biasa tidak mengalami penurunan yang signifikan bila dibandingkan dengan reaktor lainnya. Kondisi ini disebabkan karena air hujan tidak dengan cepat masuk kedalam tanah penutup dan menyebabkan partikel tanah penutup bercampur dengan *leachate* sehingga menyebabkan turunnya nilai COD.

Penurunan nilai COD pada reaktor menggunakan tanah penutup biasa dari minggu ke minggu relatif stabil dikarenakan proses degradasi sampah menjadi *leachate* berjalan tanpa terpengaruh secara langsung oleh kandungan air hujan. Hal ini terbukti dari karakteristik yang dihasilkan oleh reaktor dengan tanah penutup berwarna lebih pekat dan lebih berbau menyengat dibandingkan dengan *leachate* pada reaktor lainnya. Di akhir penelitian, dapat diketahui bahwa kandungan COD *leachate* pada reaktor menggunakan tanah penutup biasa berada pada posisi paling rendah. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa dalam pengaruh penurunan nilai konsentrasi COD *leachate* tanah penutup biasa dinilai lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan *biocover* baik yang berasal dari TPA lama maupun dari TPA baru.

4.4.6 Kandungan pH Leachate pada Ketebalan Optimum

Sama seperti pengujian yang dilakukan pada reaktor lain, pengujian pH atau derajat keasaman juga dilakukan terhadap reaktor yang menggunakan tanah penutup biasa. Kondisi derajat keasaman atau pH akan menunjukkan pengaruh jenis tanah penutup yang digunakan terhadap proses degradasi yang terjadi di dalam reaktor. Gambar 4.33 menampilkan kondisi pH *leachate* pada reaktor dengan ketebalan optimum.



R2&5 = *biocover* TPA Benowo; R12&9 = *biocover* TPA Benowo;
R15&16 = tanah penutup biasa

Gambar 4.33 Kadar pH *Leachate* pada Ketebalan Optimum

Sama halnya dengan nilai COD yang menurun secara stabil, derajat keasaman (pH) *leachate* pada reaktor dengan menggunakan tanah penutup biasa meningkat secara stabil. Kondisi tersebut sangat berbeda dengan kondisi pH pada reaktor lain yang mengalami fluktuasi kenaikan pH. Kondisi yang stabil ini terjadi karena air hujan tidak mempengaruhi secara langsung proses yang terjadi pada tumpukan sampah.

4.5 WATER BALANCE

Water balance atau kesetimbangan air dihitung guna mengetahui banyaknya air yang masuk, keluar dan tertahan di dalam reaktor. Banyaknya air yang masuk kedalam reaktor dapat dicari dengan menjumlahkan banyaknya air yang didapati pada tanah penutup, sampah, dan penambahan hujan buatan. Sedangkan untuk air yang keluar dapat dilakukan dengan mengkonversi kebutuhan air yang akan dirubah menjadi gas yang keluar dan ditambahkan dengan total kuantitas *leachate* yang dihasilkan. Dengan demikian dapat diketahui jumlah air yang tertahan dalam reaktor. Gambaran *water balance* dapat dilihat pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 Skematik *Water Balance*

Melalui rumusan unsur yang tercantum pada halaman 60, maka dapat dicari total H₂O yang digunakan dalam pembentukan gas secara stoikiometri. Diketahui nilai *specific weight* air adalah 0.009765 bila didasarkan pada rumu 4.2 yang ada di halaman 60, maka dapat diketahui kebutuhan H₂O (air) untuk di konversi menjadi total gas yang terbentuk adalah sebanyak 1.691 liter. Melalui perhitungan stoikiometri, total gas yang dihasilkan dengan menggunakan 2 liter produk air adalah sebesar 5.980 liter, maka setiap liternya akan menghasilkan 3,54 liter biogas. Dengan demikian dapat dikonversikan dalam bentuk air biogas yang dihasilkan setiap reaktor dengan rumus:

$$\text{Air (L)} = \frac{\text{Akumulasi biogas tiap reaktor (L)}}{3,54} \quad \dots\dots 4.5$$

Contoh perhitungan untuk reaktor 4 adalah seperti berikut:

- Perhitungan air dalam sampah (awal) (A)
 - Berat sampah (a) = 30 kg
 - Kadar air sampah (b) = 80.12%
 - Volume air sampah = a*b*1kg/L = 24,04 L

- Perhitungan air dalam cover (B)
 - Berat cover (a) = 5 kg
 - Kadar air cover (b) = 70.21%
 - Volume air cover = $a \cdot b \cdot 1 \text{ kg/L} = 3,51 \text{ L}$
- Perhitungan *water in* (C)
 - Water In* = $A+B+EM_4+\text{Hujan}$
 - = $A+B+1\text{L}+6,25\text{L}$
 - = $34,8 \text{ L}$
- Perhitungan konversi gas ke air (D)
 - Total Biogas = 14.300 mL = 14,3L
 - Konversi Gas ke air = $14,3 / 3,54 = 4,05 \text{ L}$
- Perhitungan *water out* (E)
 - Water out* = $D+\text{Leachate}$
 - = $16,87 \text{ L}$
- Perhitungan kandungan air dalam reaktor (F)
 - Air dalam reaktor = $C - E = 17,93 \text{ L}$
- Perhitungan kandungan air dalam sampah (akhir) (G)
 - Berat sampah (a) = 17,9 kg (4,36)
 - Kadar air sampah (b) = 74,77 % (51,76)
 - Volume air sampah = $a \cdot b \cdot 1 \text{ kg/L} = 13,38 \text{ L}$
- Perhitungan kandungan air dalam cover (akhir) (H)
 - Berat cover (a) = 4,36 kg
 - Kadar air cover (b) = 51.76%
 - Volume air cover = $a \cdot b \cdot 1 \text{ kg/L} = 2,26 \text{ L}$
- Perhitungan *water lost*
 - Water lost* = $F - (G + H)$
 - = $2,29 \text{ L (6,58\%)}$

Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama pada reaktor yang lainnya sehingga dapat diketahui banyaknya air yang ada di dalam reaktor dan berapa “faktor hilang” air. Tabel 4.5 dan 4.6 akan menjelaskan perhitungan *water balance* pada reaktor.

Tabel 4.5 Data *Water Balance*

R	Water In (L)				Total Water In	Water Out (L)		Total Water Out	Air dalam Reaktor
	Air dalam sampah	Air dalam cover	EM4	Air Hujan		Konversi gas ke air	Leachate		
R4	24.04	3.51	1	6.25	34.80	4.05	12.82	16.87	17.93
R5	24.04	4.68	1	6.25	35.96	0.74	11.48	12.22	23.74
R6	24.04	7.02	1	6.25	38.31	0.19	11.02	11.20	27.10
R8	24.04	5.27	1	6.25	36.55	0.24	11.93	12.17	24.38
R9	24.04	7.02	1	6.25	38.31	0.09	11.04	11.13	27.17
R10	24.04	10.53	1	6.25	41.82	0.05	10.38	10.43	31.39

Tabel 4.6 Perhitungan *Water Balance*

R	Total Water In	Total Water Out	Air dalam Reaktor	Air Dalam Sampah (L)	Air Dalam Cover (L)	Water Lost	%Water Lost
	A	B	C (A-B)	D	E	C - (D+E)	
R4	34.80	16.87	17.93	13.38	2.26	2.29	6.58%
R5	35.96	12.22	23.74	14.40	2.58	6.76	18.79%
R6	38.31	11.20	27.10	13.84	2.66	10.60	27.67%
R8	36.55	12.17	24.38	8.22	1.94	14.21	38.89%
R9	38.31	11.13	27.17	9.16	3.06	14.96	39.05%
R10	41.82	10.43	31.39	7.21	5.50	18.70	44.71%

Melalui tabel dapat diketahui bahwa reaktor dengan menggunakan *biocover* sampah TPA lama dan dengan ketebalan maksimum menahan air lebih banyak daripada reaktor lainnya. Hal ini dikarenakan adanya penahanan air pada agregat tanah penutup sehingga kandungan air yang tertahan dalam reaktor dengan *biocover* sampah TPA lama lebih tinggi.

4.6 PENGUJIAN KARAKTERISTIK AKHIR

Hasil akhir penelitian digunakan untuk mengetahui kondisi akhir dari bahan uji. Sub bab berikut akan menjabarkan tentang kondisi akhir penelitian yang dilakukan.

4.6.1 Pengujian Karakteristik Akhir Sampah Pasar Keputran

Karakteristik akhir sampah Pasar Keputran dibutuhkan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada sampah di setiap reaktor uji. Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 menunjukkan perbandingan karakteristik awal dan akhir sampah Pasar Keputran.

Tabel 4.7 Perbandingan Karakteristik Fisik Awal dan Akhir Sampah Pasar Keputran

R	Berat Sampah (Kg)		Ketinggian Sampah (cm)		Volume Sampah (m ³)		Densitas Sampah (kg/m ³)	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
R1	30	17.1	50	41	0.0313	0.026	960	667
R2		17.6		38		0.024		741
R3		17.0		34		0.021		800
R4		17.9		43		0.027		666
R5		17.8		39		0.024		730
R6		16.9		34		0.021		795
R7		21.5		47		0.029		732
R8	30	15.3	50	39	0.0313	0.024	960	628
R9		18.3		35		0.022		837
R10		15.9		30		0.019		848
R11		16.1		40		0.025		644
R12		17.6		34		0.021		828
R13		16.8		32		0.020		840
R14		21.1		46		0.029		734

Berdasarkan Tabel 4.8 diketahui bahwa kondisi fisik sampah berupa berat dan volume menurun. Hal ini disebabkan karena adanya degradasi sampah sehingga menyebabkan menyusutnya kapasitas sampah pasar yang di uji. Untuk sampah dengan

biocover TPA lama penurunan beratnya mencapai 47% sedangkan dengan menggunakan *biocover* TPA baru hanya 43,7% saja. Sedangkan untuk penurunan volume, sampah dengan *biocover* TPA lama mengalami penurunan hingga 40% dan sampah dengan *biocover* TPA baru hingga 32%. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme pada *biocover* juga turut membantu pendegradasian sampah. Mikroorganisme yang didapati pada *biocover* TPA lama memiliki karakteristik lebih bervariasi dan lebih banyak sehingga proses pendegradasian sampah berjalan lebih cepat (Kurniasari *et al.*, 2014).

Bila melihat kondisi penurunan sampah yang demikian maka dapat diperkirakan jumlah gas metan yang dihasilkan secara teoritis. Berdasarkan rumusan 4.4 dan rumusan perhitungan pembentukan gas metan pada halaman 60 maka dapat diketahui gas metan yang terbentuk setelah terjadi reduksi baik dalam berat maupun volume dan pengaruhnya dengan kadar air. Bila mengacu pada uji GC untuk reaktor 4, 11, dan 14 yang diketahui terjadi reduksi berat berturut-turut sebesar 12,1kg; 13,9kg dan 8,9kg maka dapat dihitung gas metan yang dihasilkan oleh ketiga reaktor tersebut. Berdasarkan rumusan kimia 4.3 dan perhitungan pada halaman 60 maka diketahui biogas yang terbentuk secara teoritis untuk merubah 12,1kg sampah yang tereduksi pada reaktor 4 adalah 3.061L, gas metan yang terbentuk adalah 1.633 L (54%). Biogas yang terbentuk secara teoritis untuk merubah 13,9kg sampah yang tereduksi pada reaktor 11 adalah 2.727L, gas metan yang terbentuk adalah 989 L (36%). Sedangkan biogas yang terbentuk secara teoritis untuk merubah 8,9kg sampah yang tereduksi pada reaktor 14 adalah 3.421L, gas metan yang terbentuk adalah 2.312 L (68%). Berdasarkan uji GC yang dilakukan dapat diketahui bahwa gas metan yang dihasilkan adalah maksimum 13,49% untuk reaktor 14 yang menunjukkan bahwa gas metan yang dihasilkan sesuai kondisi uji tidak melebihi perhitungan stoikiometri.

Selanjutnya, untuk perbandingan karakteristik kimia dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perbandingan Karakteristik Kimia Awal dan Akhir Sampah Pasar Keputran

R	Suhu Sampah (°C)		pH Sampah		Kadar Air Sampah (%)		Kadar Volatil Sampah (%)	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
R1	35	33	5.51	6.21	80.12	75.95	88.21	74.35
R2		34		6.23		81.52		66.10
R3		35		6.32		81.07		66.44
R4		34		6.23		74.77		72.85
R5		34		6.26		80.91		64.91
R6		35		6.34		81.91		67.83
R7		32		6.52		33.32		92.16
R8	36	33	5.46	6.32	80.12	53.74	89.21	75.58
R9		34		6.33		50.04		71.63
R10		37		6.27		45.31		74.69
R11		34		6.33		53.26		74.72
R12		34		6.34		50.33		74.38
R13		36		6.36		45.36		77.40
R14		32		6.56		33.21		92.12

Berdasarkan Tabel 4.9 dapat diketahui penurunan suhu reaktor yang tidak signifikan. Proses degradasi yang terjadi menyebabkan penurunan suhu mendekati suhu ruang. pH sampah di akhir penelitian meningkat mendekati normal, hal ini juga disebabkan karena adanya aktivitas degradasi oleh mikroorganisme. Selain itu, masuknya unsur *biocover* bersama dengan hujan buatan juga menjadi faktor penyebab naiknya nilai pH. Air yang ditambahkan sebagai hujan buatan akan membentuk senyawa bikarbonat (H_2CO_3) dari reaksi CO_2 dan air hasil dekomposisi bahan organik sehingga meningkatkan nilai pH (Sari *et al.*, 2016).

4.6.2 Pengujian Karakteristik Akhir *Biocover*

Karakteristik akhir *biocover* dibutuhkan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada *biocover* pada setiap reaktor uji. Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 menunjukkan perbandingan karakteristik awal dan akhir *biocover*.

Tabel 4.9 Karakteristik Fisik Awal dan Akhir *Biocover*

R	Berat Cover (Kg)		Ketinggian Cover (cm)		Volume Cover (m ³)		Densitas Cover (kg/m ³)	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
R1	5	4.01	15	11	0.009	0.007	533	583
R2	6.66	5.32	20	16	0.013	0.010	533	532
R3	10	5.35	30	25	0.019	0.016	533	342
R4	5	4.36	15	12	0.009	0.008	533	581
R5	6.66	5.01	20	15	0.013	0.009	533	534
R6	10	5.59	30	26	0.019	0.016	533	344
R8	7.5	3.61	15	10	0.009	0.006	800	578
R9	10	6.11	20	14	0.013	0.009	800	698
R10	15	12.12	30	22	0.019	0.014	800	881
R11	7.5	3.57	15	10	0.009	0.006	800	571
R12	10	5.61	20	13	0.013	0.008	800	690
R13	15	13.25	30	24	0.019	0.015	800	883

Berbeda dengan karakteristik sampah di akhir penelitian, karakteristik fisik *biocover* tidak mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini dikarenakan *biocover* berisi sampah yang telah terdegradasi, sehingga proses penurunan berat dan volume tidak terjadi secara signifikan. *Biocover* TPA lama mengalami pengurangan berat hingga 52,4% dan *biocover* TPA baru mengalami pengurangan berat hingga 46,5%. Sedangkan untuk pengurangan volume, *biocover* TPA lama mengalami reduksi volume sebesar 24% dan TPA baru sebesar 26%. Selanjutnya, untuk perubahan karakteristik kimia *biocover* dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Karakteristik Kimia Awal dan Akhir *Biocover*

R	Suhu Cover (°C)		pH Cover		Kadar Air Cover (%)		Kadar Volatil Cover (%)		Kadar Pb Cover (ppm)			
	Aw	Ak	Aw	Ak	Aw	Ak	Aw	Ak	Aw	Ak		
R1	31	31	7.82	7.23	70.21	52.63	39.12	52.35	16.96	9.12		
R2		31		7.26						50.86	36.84	7.56
R3		32		7.04						46.29	21.27	6.64
R4		31		7.18						51.76	51.61	8.93
R5		31		7.21						51.56	38.52	8.15
R6		33		6.98						47.57	24.98	4.29
R8	31	32	7.25	7.14	57.75	53.74	30.56	28.57	21.87	16.33		
R9		32		7.18						50.04	35.09	13.02
R10		33		7.22						45.31	43.12	9.43
R11		32		7.16						53.26	27.39	18.43
R12		32		7.19						50.33	34.56	14.32
R13		34		7.08						45.36	43.23	8.27

Perubahan kimia yang terjadi pada *biocover* salah satunya diakibatkan karena adanya hujan buatan sehingga terjadi proses yang mengakibatkan penurunan nilai pH. Terjadi transisi fase aerobik dengan anaerobik pada fase asidogenesis pada sampah yang berpengaruh pada *biocover* sehingga menyebabkan penurunan pH sehingga logam berat menjadi terlarut. Hal ini menyebabkan berkurangnya kadar logam berat pada tanah penutup.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Semakin tua usia sampah TPA semakin baik untuk digunakan sebagai tanah penutup untuk mengurangi produksi gas metan. Melalui percobaan pada ketebalan tanah penutup minimum, tanah TPA Keputih (TPA Lama) mampu mereduksi 98,10% gas metan yang terbentuk sedangkan Tanah TPA Baru hanya mampu mereduksi 60,34% gas metan dari total gas metan yang terbentuk. Selain itu, pada ketebalan *biocover* minimum tanah TPA Lama mampu menahan air hujan yang masuk ke tanah hingga 20,52% dan tanah TPA baru hanya mampu menahan air hujan sebesar 14,59%.
2. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan reduksi gas metan dan *leachate* pada variasi *biocover* setebal 20 cm terlihat signifikan bila dibandingkan dengan ketebalan *biocover* 15 cm. Namun, perbedaan reduksi gas metan dan *leachate* dengan ketebalan *biocover* 30 cm tidak terlihat signifikan dibandingkan dengan ketebalan *biocover* 20 cm. Sehingga ketebalan *biocover* paling optimum untuk digunakan sebagai tanah penutup adalah 20 cm.

5.2 Saran

Saran diberikan berdasarkan hasil penelitian untuk digunakan sebagai perbaikan dalam penelitian yang akan dilakukan di kemudian hari. Beberapa saran yang bisa diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan analisis terhadap jumlah dan jenis bakteri yang ada di sampah TPA yang akan digunakan sebagai *biocover* sebelum dan sesudah dilakukan penelitian sehingga diketahui pola kembang bakteri.
2. Perlu dilakukan pengujian terhadap lokasi dan *range* usia TPA yang lebih beragam, sehingga diketahui kondisi optimum umur TPA untuk digunakan sebagai *biocover*.
3. Perlu dilakukan pengujian dengan variasi kedalaman sampah di TPA untuk digunakan sebagai *biocover*, sehingga dapat diketahui pengaruh kedalaman sampah TPA terhadap efektivitas penggunaan sampah sebagai *biocover*.
4. Perlu dilakukan pengujian terhadap pengaruh faktor pemadatan terhadap efektivitas *biocover*.
5. Perlu dilakukan perhitungan perbandingan biaya operasional penggunaan tanah penutup biasa dan *biocover* untuk mengetahui keunggulan penggunaan *biocover*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N. O. 2017. *The Influences of Stirring and Cow Manure Added on Biogas Production from Vegetable Wastes Using Anaerobic Digester*. Tesis Master di Jurusan Teknik Lingkungan, ITS, Surabaya.
- Abichou, T., Mahieu, K., Yuan, L., Chanton, J., dan Hater, G. 2009. *Effects of Compost Biocovers on Gas Flow and Methane Oxidation in a Landfill Cover*. Waste Management Journal, 11(7), hal. 1595-1601.
- Albanna, M., Warith, M., dan Fernandes, L. 2010. *Kinetics of Biological Methane Oxidation in the Presence of Non-Methane Organic Compounds in Landfill Biocovers*. Waste Management Journal, 12(30), hal. 219-227.
- Albanna, M., Fernandes, L., dan Warith, M. 2007. *Methane Oxidation in Landfill Cover Soil; the Combined Effects of Moisture Content, Nutrient Addition and Cover Thickness*. Journal of Environmental Engineering and Science, 6(2), hal. 191-200.
- Ali, M. 2012. *Monograf Tinjauan Proses Bioremediasi Melalui Pengujian Tanah Tercemar Minyak*. Edisi ke-1, UPN Press, Surabaya, Indonesia.
- Anindita, F., Gabriel, S., Kristanto, B. A., dan Hartono D. M. 2013. *Analisis Pengaruh Resirkulasi Air Lindi Terhadap Konsentrasi Total Suspended Solid dan Total Dissolved Solid pada Air Lindi dengan Permodelan Lysimeter*. Tesis Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Arasan, S. dan Yetimoglu, T. 2008. *Effect of inorganic salt solutions on the consistency limits of two clays*. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 14(32), hal. 107-115.
- Arsova, L. 2010. *Anaerobic Digestion of Food Waste: Current Status, Problems and An Alternative Product*. Master Project in Columbia University.

Atagana, H. I. 2008. Compost Bioremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soil Inoculated With Organic Manure. African Journal of Biotechnology, 7(10), hal. 1516-1525.

Bogner, J., Ahmed, M. A., Diaz, C., Faaij, A., Gao, Q., Hashimoto, S., Mareckova, K., Pipatti, R., dan Zhang, T. 2007. Mitigation Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and Newyork, USA. Waste Management.

Cheng, Y., dan Guo, L. 2014. Treatment of Municipal Landfill Leachate Using Magnetic Porous Ceramsite Carrier. J Water Reuse Desalin, 4(2), hal. 100–108

Christophersen, M., Linderøed, L., Jensen, P., dan Kjeldsen, P. 2004. Methane Oxidation at Low Temperatures in Soil Exposed to Landfill Gas. Journal of Environment, 4(29), hal. 1989–1997.

Cookson, Jr, J. T. 1995. Bioremediation engineering: design and Application USA. McGraw-Hill Inc.

Damanhuri, E., dan Padmi, T. 2008. Diktat Kuliah Pengelolaan Sampah. Edisi ke-1. Jurusan Teknik Lingkungan, FTSL, ITB, Jawa Barat, Indonesia.

Damanhuri, E., 2008. Diktat Landfilling Limbah. Jurusan Teknik Lingkungan, FTSL, ITB, Jawa Barat, Indonesia.

Divya, D., Gopinath, P., dan Merlin, C. 2015. A Review On Current Aspects and Diverse Prospects for Enhancing Biogas Production in Sustainable Means. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 28(1), hal. 690-699.

Einola, J. 2010. Biotic Oxidation of Methane in Landfill in Boreal Climatic Conditions. Academic Disertation, at the University of Jyväskylä, Faculty of Mathematics and Science, May 2010.

Einola, J., Kettunen, R. H., dan Rintala, J. A. 2007. Responses of methane oxidation to temperature and water content in cover soil

of boreal landfill. Soil Biology & Biochemistry Journal, 2(39), hal. 1156-1164.

Eka, G. 23 Mei. 2010. Air Lindi TPA Benowo Cemari Tambak. <<http://www.jawapos.com/read/2010/05/23/30096/air-lindi-tpa-benowo-cemari-tambak>>.

Eviati dan Sulaiman. 2009. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Edisi ke-2. Balai Penelitian Tanah, Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

Fauzi, A. 2008. Analisa Kadar Unsur Hara, Karbon Organik, dan Nitrogen di Dalam Tanah Perkebunan Kelapa Sawit Bengkalis Riau. TA D3 Kimia Analis, Fakultas MIPA, Universitas Sumatra Utara, Indonesia.

Febrianto, E. 16 Maret. 2015. Team Survey JICA Kunjungi TPA Benowo Surabaya, <<http://ciptakarya.pu.go.id/binaprogram/?p=1933>>.

Friadi, Y., Marsudi., dan Yusuf, W. 2007. Desain Instalasi Pengolahan Leachate (IPL) di TPA Entikong Kabupaten Sanggau. Jurnal Teknik Lingkungan, 23(9), hal. 1-7.

Garza, D. R., dan Dutilh, B. E. 2015. From Cultured to Uncultured Genome Sequences: Metagenomics and Modeling Microbial Ecosystems. Molecular Journal of Life, 72(1), hal. 4287–4308.

Gray, D. M., Suto, P., dan Peck, C. 2008. Anaerobic Digestion of Food Waste. East Bay Municipal Utility District: U.S. Environmental Protection Agency Region.

Gonzales, S. L., Sampieri, A., Cabello, J., Galvan, L., Juarez, V., dan Castro, C. 1995. Sequence and Functional Analysis of the Streptomyces Phaeochromogenes Plasmid pJV1 Reveals a Modular Organization of Streptomyces Plasmids That Replicate by Rolling Circle. Microbiological Journal, 141(10), hal. 2499-510.

He, R., Ruan. A., dan Dong-Sheng, S. 2007. Effects of Methane on the Microbial Population and Oxidation Rates in Different

Landfill Cover Soil Columns. Journal of Environmental Science & Health, 12(42), hal. 785-793.

Herawati, T., 2012. Refleksi Sosial dari Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Peternakan di Indonesia. Wartazoa, 22(1), hal. 35-44.

Herawati, D. A. dan Wibawa, A. A. 2010. Pengaruh Pretreatment Jerami Padi pada Produksi Biogas dari Jerami Padi dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara Batch. Jurnal Rekayasa Proses, 4(1), hal. 25-29.

Humer, M. H., Gebert, J., dan Hilger, H. 2008. Biotic System to Mitigate Landfill Methane Emission. Waste Manage Journal, 26(1), hal. 33-46.

Irawan, B. 2014. Pengaruh Susunan Bahan Terhadap Waktu Pengomposan Sampah Pasar pada Komposter Beraerasi. Jurnal Teknik Lingkungan, 10(1), hal. 18-24.

Kalyuzhnay, M. G., De Marco, P., Bowerman, S., Pacheco, C. C., Lara, J. C., Lidstrom, M. E., dan Chistoserdova, L. 2006. Methyloversatilis Universalis gen. nov., sp. nov., a Novel Taxon Within the Betaproteobacteria Represented by Three Methylophilic Isolates. Int J Syst Evol Microbiol, 56(11), hal. 2517-2522.

Kaseke, O. H., Kereh, L. F., dan Sendow, T. K. 2013. Pengaruh Porositas Agregat Terhadap Berat Jenis Maksimum Campuran. Jurnal Sipil Statik, 1(3), hal. 190-195.

Kawai, M., Kishi, M., Hamersley, M.R., Nagao, N., Hermana, J., dan Toda, T. 2012. Biodegradability and Methane Productivity During Anaerobic Co-digestion of Refractory Leachate. International Biodeterioration & Biodegradation Journal, 72(4), hal. 46-51.

Kristanto, G. A., Rahayu, D., dan Novita, E. 2014. Analisa Pemanfaatan Kompos Sebagai Media Biocover di Tempat

Pemrosesan Akhir Sampah: Studi Kasus Kota Depok, Jawa Barat. Reaktor, 15(2), hal. 117-125.

Kumar, T. P., Rahul, Kumar, M. A., dan Chandrajit, B. 2011. Biofiltration of Volatile Organic Compounds (VOCs). Research Journal of Chemical Sciences, 1(8), hal. 83-92.

Kurniasari, O., Damanhuri, E., Padmi, T., dan Kardena, E. 2014. Tanah Penutup Landfill Menggunakan Sampah Lama Sebagai Media Oksidasi Gas methan untuk Mengurangi Emasi Gas Gas methan. Jurnal Bumi Lestari, 14(1), hal. 46-52.

Kurniasari, O., Padmi, T., Kaedena, E., dan Damanhuri, E. 2013. Performa Oksidasi Metan Pada Reaktor Kontinyu Dengan Peningkatan Ketebalan Lapisan Biocover Landfill. Jurnal Bumi Lestari, 14(3), hal. 179-186.

Kusuma, A. I., Pandebesie, E. S., dan Warmadewanthi, I. D. A. A. 2012. Pengaruh Resirkulasi Lindi Terhadap Laju Degradasi Sampah TPA Kupang, Jabon, Sidoarjo. Scientific Conference of Environmental Technology IX.

Kusumawati, T. 2012. Kajian Degradasi Air Tanah Dangkal Akibat Air Lindi (Leachate) di Lingkungan Tempat Pembuangan Akhir Putri Cempo Surakarta. Tesis Master di urusan Ilmu Lingkungan, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia.

Lee, A. H., Nikraz, dan H., Hung, Y. T. 2010. Influence of Waste Age on Landfill Leachate Quality. International Journal of Environmental Science and Development, 1(4), hal. 347-350

Lee, S. W., Im, J., DiSpirito, A. A., Bodrossy, L., Barcelona, M. J., dan Semrau, J. D. 2009. Effect of Nutrient and Selective Inhibitor Amendments on Methane Oxidation, Nitrous Oxide Production, and Key Gene Presence and Expression in Landfill Cover Soils: Characterization of the Role of Methanotrophs, Nitrifiers, dan Denitrifiers. Environmental Biotechnology Journal, 7(85), hal. 389-403.

Lestari, L. I., Soemirat, J., dan Dirgawati, M. 2013. Penentuan Konsentrasi Gas metan di Udara Zona 4 TPA Sumur Batu Kota Bekasi. Jurnal Institut Teknologi Nasional, 1(1), hal. 1-11

Megawati, dan Aji, W. 2014. Pengaruh Penambahan EM4 pada Pembuatan Biogas Dari Eceng Gondok dan Rumen Sapi. Jurnal Bahan Alam Terbarukan, 3(2), hal. 1-11.

Menard, C., Ramirez, A. A., Nikiema, J., dan Heitz, M. 2009. Biofiltration od Methane: Effect of Temperature and Nutrient Solution. WIT Press, 2(127), hal. 239-244.

Muhiddin, S. 27 Mei. 2016. Dua Tahun Warga Gadel "Ditimbun" Sampah, <<http://radarsurabaya.jawapos.com/read/2016/06/03>>.

Mustami, R., Aiunun, S., dan Hartati, E. 2015. Karakteristik Substrat dalam Proses Anaerob Menggunakan Biodigester. Jurnal Reka Lingkungan, 3(2), hal. 1-12.

Nuriana, W., Sururi, M. R., dan Ainun, S. 2016. Identifikasi Konsentrasi Sisa Ozon pada Proses Ozonisasi Konvensional dan Advanced Oxidation Process (AOP) Tipe Ozon/H₂O₂ untuk Pengolahan Lindi dari TPA Aktif. Jurnal Rekayasa Lingkungan, 1(4), hal. 1-11.

Park, S., Lee, C. H., Ryu, C. R., dan Sung, K. J. 2009. Biofiltration for Reducing Methane Emissions from Modern Sanitary Landfills at the Lowmethane Generation Stage. Water Air and Soil Pollution Journal, 196(1), hal. 19-27.

Pedersen, B. G., 2010. Processed in a Compost Based Landfill Biocover: Methane Emission, Transport and Oxidation. Ph.D Thesis di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Denmark.

Purwanta, W., Soemantojo, R. W., Widanarko, S., dan Bismo, S. 2012. Uji Eliminasi Gas Gas metan (CH₄) Dengan Biofiltrasi pada Unggun Kompos dan Tanah Penutup Landfill. Jurnal Teknik Lingkungan, 14(3), hal. 1-10.

Reddy, M. S. dan Wang, Q. 2011. *Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) for Sustainable Agriculture*. Proceedings of the 2nd Asian PGPR Conference, August 21-24, 2011, Beijing, P.R. China.

Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., dan Moulin, P. 2008. *Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunity*. *Jurnal of Hazardous Material*, 49(77), hal. 468-493

Republik Indonesia. 2008. *Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah*. Sekretaris Negara, Jakarta, Indonesia

Rohkman, A., dan Artiani, G. P. 2015. *Perbaikan Sifat Fisik Tanah Bekas Timbunan Sampah sengan Bahan Stabilisasi Kapur*. Seminar Sains dan Teknologi, Jakarta, Indonesia, 17 Nopember, hal. 1-11.

Sari, G. L., Mizwar, A., dan Trihadiningrum, Y. 2014. *Potensi Co-Composting untuk Bioremediasi Tanah Terkontaminasi Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) pada Area Pelabuhan Khusus Batubara di Kabupaten Tapin, Kalimantan Selatan*. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXII, Program Studi MMT-ITS, Surabaya, 24 Januari 2014.

Sari, G. L., Mizwar, A., dan Trihadiningrum, Y. 2016. *Pengaruh pH Tanah Terhadap Proses Biodegradasi Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) pada Tanah Terkontaminasi Batubara*. *Jurnal Teknologi*, 8(1), hal. 31-38.

Scheutz, C., Kjeldsen, P., Bogner, J. E., De Vissher A., Gebert, J., Hilger, H. A., Huber-Humer M., dan Spokas, K. 2009. *Microbial Methane Oxidation Processes and Technologies for Mitigation of Landfill Gas Emissions*. *Waste Management & Research*, 13(27). hal. 409-4055.

Silas, J., Ratna, H. S., Setyawan, W., Dewanti, W., Hartatik, dan Firmaningtyas, S. 2014. *Revitalisasi Eks TPA Keputih Menadi Taman Kota untuk Mendukung Surabaya Menuju Eco-City*. Simposium Nasional RAPI XIII, FT UMS, Indonesia, hal. A1-A8.

Siregar, N. A., Sumono, dan Munir, A. P. 2013. Permeability Study of Several Soil Types in Kwala Bekala Field Trials USU Through Laboratory and Field Test. Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian, 1(4), hal. 138-143.

Siti, K. 13 Agustus. 2013. Surabaya Green and Clean: Kepedulian Bambang DH Terhadap Lingkungan, <http://www.kompasiana.com/khumaira/surabaya-green-and-clean-kepedulian-bambang-dh-terhadaplingkungan_552fc74c6ea8349c398b45a2>.

Stern, J. C., Chanton, J., Abichou, J., Powelson, D., Yuan, L., Escoriza, S., dan Bogner, J. 2007. Use of Biologically Active Cover to Reduce Landfill Methane Emission and Enhance Methane Oxidation. Waste Management Journal, 27(1), hal. 1248-1258.

Suprihatin, Indrasti, N. S., dan Romli, M. 2007. Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Pengomposan Sampah. Jurnal Teknik Industri Pertanian, 18(1), hal. 53-59

Susanna, T. S., dan Supriyanto, C. 2007. Jaminan Mutu Metode F-AAS pada Analisis Unsur-Unsur Cu, Cr, dan Zn dalam Cuplikan Limbah Industri. Prosiding PPI – PDIPTN, Yogyakarta, Indonesia, 10 Juli, hal. 229-234.

Tchobanoglous, G., Theisen, dan Vigil, S. 1993. Integrated Solid Waste Management – Engineering Principles and Management Issues. Edisi ke-2. McGraw-Hill, Hightstown, United States.

Thipkhunthod, P., Meeyoo, V., Rangsunvigitt, P., Kitiyanan B., Siemanond, K., dan Rirksoomboon, T. 2005. Predicting the Heating Value of Sewage Sludges in Thailand from Proximate and Ultimate Analysis. Elsevier, 84(7), hal. 849-857.

Triastuti, Y. 2012. Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg^{2+}) Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetiver Zizanioides) pada Lahan Eks-TPA Keputih Surabaya. Tesis Sarjana, Jurusan

Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Wahyono, S. 2001. Pengolahan Sampah Organik dan Aspek Sanitasi. Jurnal Teknologi Lingkungan, 2(2), hal. 113-118.

Warmadewanthi, Pandebesie, E. S., Herumurti, W., Trihadiningrum, Y., dan Bagastyo, A. Y. 2016. Sustainability of Solid Waste Management in Surabaya City. 6th Brunei International Conference On Engineering and Technology (BICET). Universiti Teknologi Brunei, Brunei Darussalam, 14-25 Nopember 2016.

Wesley, L. D. 2012. Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils. Terj. Pranyoto, S., dan Wesley, L. D. Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu. Edisi ke-1. Penerbit ANDI, Yogyakarta, Indonesia.

Yang, L., Huang, Y., Zhao, M., Miao, H., dan Ruan, W. 2015. Enhancing Biogas Generation Performance from Food Wastes by High-Solids Thermophilic Anaerobic Digestion: Effect of pH Adjustment. International Biodeterioration and Biodegradation Journal, 26(1), hal. 153-159.

Zarkadas, I. S., Sofikiti, A. S., Voudrias, E. A., dan Pilidis, G. A. 2015. Thermophilic Anaerobic Digestion of Pasteurised Food Wastes and Dairy Cattle Manure in Batch and Large Volume Laboratory Digesters: Focussing on Mixing Ratios. Renewable Energy, 24(2), hal. 432-440.

Zeiss, C.A. 2009. Accelerated Methane Oxidation Cover System to Reduce Greenhouse Gas Emissions From MSW Landfills in Cold, Semi-Arid Regions. EBA Engineering-Research.

Zulkarnain, M., Prasetya, B., dan Soemarno. 2013. Pengaruh Kompos, Pupuk Kandang, dan Custom-Bio Terhadap Sifat Tanah, Pertumbuhan dan Hasil Tebu (Saccharum Officinarum L.) pada Entisol di Kebun Ngrangkah-Pawon, Kediri. Indonesian Green Technology Journal, 2(1),hal. 45-52.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A PROSEDUR ANALISIS

A.1 Perhitungan Substrat

Peralatan : Timbangan tangan

Bahan : Sampah Pasar Keputran dan sampah terdegradasi

Prosedur kerja analisis:

1. Sampah sayuran dicacah
2. Timbang sampah sayuran dan sampah terdegradasi dengan timbangan sesuai berat yang dibutuhkan.
3. Masukkan ke dalam reaktor

A.2 Prosedur Analisis Suhu

Peralatan : **rapitest** *soil analyzer*

Prosedur kerja analisis :

1. Atur tombol pilihan ke arah °C
2. Masukkan *soil analyzer* ke bagian tengah sampah yang sudah disusun di dalam reaktor.
3. Diamkan beberapa saat hingga *soil analyzer* menunjukkan suhu yang stabil dan tepat

A.3 Prosedur Analisis Derajat Keasaman (pH) Tanah

Peralatan : **rapitest** *soil analyzer*

Prosedur kerja analisis :

1. Atur tombol pilihan ke arah pH
2. Masukkan *soil analyzer* ke bagian tengah sampah yang sudah disusun di dalam reaktor.
3. Diamkan beberapa saat hingga *soil analyzer* menunjukkan pH yang stabil dan tepat

A.4 Prosedur Analisis Kadar Air dan Kadar Volatil

Peralatan

1. Timbangan
2. Cawan petri
3. Cawan cruss
4. Cawan mortir
5. Oven 600⁰c
6. Oven 105⁰c
7. Penjepit

Prosedur kerja analisis kadar air:

1. Siapkan alat dan bahan
2. Timbang cawan petri
3. Panaskan cawan petri dalam oven 105⁰c selama 2 jam
4. Masukkan dalam deksikator selama 15 menit.
5. Masukkan sampel kedalam cawan petri.
6. Timbang cawan petri yang berisi sampah, kemudian catat hasilnya (a gr)
7. Masukkan cawan petri berisi sampah kedalam oven 105⁰c selama 24 jam.
8. Setelah 24 jam, keluarkan cawan dan masukan dalam deksikator, tunggu selama 15 menit
9. Timbang kembali dan catat hasilnya (b gr)
10. Setiap langkah, gunakan pinset / penjepit untuk mengangkat cawan petri
11. Hitung kadar airnya, dengan rumus :

$$\% \text{ kadar air} = \frac{\text{Berat cawan isi (a)} - \text{berat cawan isi (b)}}{\text{berat cawan isi (a)} - \text{berat cawan kosong (k)}}$$

Prosedur kerja analisis kadar volatil:

1. Panaskan cawan kosong selama 1 jam dalam oven 105⁰c
2. Timbang cawan kosong tersebut, kemudian catat hasilnya (K = berat cawan kosong)
3. Masukkan sampah hasil analisis kadar air kedalam cawan
4. Timbang kembali cawan yang berisi sampah kering halus (a gr)
5. Masukkan cawan berisi sampah kedalam furnace bersuhu 600⁰C selama 2 jam.
6. Setelah 2 jam, masukan cawan kedalam oven bersuhu 105⁰C selama 1 jam.
7. Keluarkan cawan, biarkan dingin, masukan dalam deksikator selama 15 menit.
8. Timbang cawan tersebut (b gr)
9. Hitung kadar volatilnya, dengan rumus :

$$\% \text{ volatil} = \frac{\text{Berat cruss isi (a)} - \text{berat cruss isi (b)} \times 100 \%}{\text{berat cruss isi (a)} - \text{berat cruss kosong (k)}}$$

A.5 Prosedur Analisis C-Organik (*Walkley and Black*)

Peralatan :

- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. Neraca Analitis | 4. Pipet ukur 10 ml |
| 2. Erlenmeyer 250 ml | 5. Pipet ukur 5 ml |
| 3. Pipet tetes | 6. Botol COD |

Bahan :

- | | |
|---------------------|----------------------|
| 1. Sampel | 4. Perak sulfat |
| 2. Aquades | 5. Larutan FAS 0,4 N |
| 3. $K_2Cr_2O_7$ 1 N | 6. Indikator Feroin |

Pembuatan Reagen :

- Larutan $K_2Cr_2O_7$ 1 N
Timbang dengan teliti 49,04 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan di oven $105^\circ C$. Larutkan dengan aquades hingga 1 L menggunakan labu pengencer 1 L
- Perak sulfat
Digunakan langsung dari botolnya tanpa dituang ke *beaker glass*
- Larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,4 N
Timbang dengan teliti 112 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ kemudian tambahkan dengan 15 mL H_2SO_4 pekat. Encerkan dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L.
- Larutan Indikator Feroin
Larutkan 1,485 gram Orthophenanthroline dan 0,695 gram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ke dalam 100 mL aquades dengan menggunakan labu pengencer 100 mL. Letakkan dalam botol gelap dan terhindar dari sinar matahari.

Prosedur Analisis :

- Timbang sampel sebanyak 0,5 gram yang telah diayak
- Tambahkan aquades sebanyak 100 ml lalu masukkan ke dalam Erlenmeyer 250 ml
- Ambil 1 ml larutan dan masukkan ke dalam tabung COD
- Larutan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ditambahkan sebanyak 1,5 ml dan kocok
- Larutan campuran asam (H_2SO_4) dan perak ditambahkan sebanyak 3,5 mL dan kocok hingga merata

6. Panaskan hingga 2 jam
7. Lakukan langkah yang sama untuk blanko
8. Dinginkan selama 20-30 menit
9. Kemudian ditambahkan indikator ferroin sebanyak 3-4 tetes
10. Titrasi menggunakan larutan standart FAS 0,4 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat yang tidak hilang selama 1 menit
11. Perhitungan nilai C dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C\text{-org (\%)} = [0,003 \text{ g} \times N \times 100 \text{ ml} \times (1-T/S) \times 100] / ODW$$
 dengan:
 - T = mL FeSO₄ untuk titrasi sampel
 - S = mL FeSO₄ untuk titrasi blanko
 - N = Normalitas larutan FAS
 - ODW = berat kering sampel (g)
$$2\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 3\text{C} + 16\text{H}^+ \rightarrow 4\text{Cr}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} + 3\text{CO}_2$$
 1 mL dari 1 N dikromat sama dengan 3 mg karbon

A.6 Prosedur Analisis Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

Peralatan :

1. Neraca analitik
2. Labu kjeldahl
3. Pipet ukur 10 ml
4. *Beaker Glass*
5. Gelas ukur
6. Labu pengencer 100 mL
7. Spatula kaca

Bahan :

1. Larutan campuran CuSO₄
2. Aquades
3. Garam signet
4. Nessler

Pembuatan Reagen :

a. Campuran CuSO_4

Dibuat dengan mencampurkan 1,55 g CuSO_4 anhidrat, 96,9 g Na_2SO_4 anhidrat dan 1,55 g selen kemudian dihaluskan.

b. H_2SO_4 pekat

Digunakan langsung dari botolnya tanpa dituang ke *beaker glass*.

c. Nessler

Campur dan haluskan 50 gram serbuk HgI_2 dan 35 gram KI kemudian dilarutkan dengan 80 gram NaOH yang sudah dilarutkan dengan aquades hingga 500 mL. Biarkan mengendap dan diambil supernatannya.

d. Garam Signet

Larutkan 50 gram K.Na.Tartrat ke dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.

Prosedur kerja analisis :

1. Timbang 0,2 gram sampel dengan timbangan anallitis
2. Masukkan ke dalam labu kjehdahl
3. Tambahkan 10 ml reagen $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$ pekat
4. Panaskan dengan alat Kjedahl selama 4 jam hingga warna berubah hijau
5. Dinginkan hasil destilasi. Kemudian encerkan menjadi 100 mL, setelah itu ambil 1 mL dan masukkan ke dalam labu erlenmeyer 100 mL
6. Encerkan larutan menjadi 25 mL dengan menggunakan aquades
7. Tambahkan 0,6 mL garam signet dan 0,5 ml nessler
8. Diamkan selama 10 menit
9. Lakukan tahap sebelumnya pada aquades dan blanko
10. Baca dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang sesuai dengan hasil kalibrasi yaitu 395 nm
11. Hitung total kjehdahl nitrogen dengan rumus dari kurva kalibrasi.

A.7 Prosedur Analisis Logam Berat Metode AAS

Peralatan

1. Neraca analitik
2. Vortex mixer
3. Spektrometer serapan atom (SSA)
4. Generator hidrida
5. Labu ukur 1 L
6. Pipet 1-10 ml
7. Tabung reaksi 30 m

Pereaksi

1. HNO_3 pekat (65%) p.a.
2. HClO_4 pekat (60%) p.a.
3. HCl pekat (37%) p.a.
4. Air bebas ion dua kali demineralisasi atau destilasi
5. Larutan natrium borohidrida, NaBH_4
Larutkan 10 g NaBH_4 dan 4 g NaOH dalam labu ukur 1 l dengan air bebas ion, encerkan dan impitkan hingga tanda garis. Larutan ini harus selalu segar.
6. Larutan HCl 2,4 N
Encerkan 200 ml $\text{HCl}(\rho)$ dalam labu ukur 1 l dengan air bebas ion dan impitkan hingga tanda garis.
7. Larutan HCl 1,2 N
Encerkan larutan HCl 2,4 N sebanyak dua kali.
8. Pereaksi natrium iodida atau kalium iodida 2%
Larutkan 20 g NaI (KI) dalam labu ukur 1 l dengan HCl 2,4 N, dan impitkan hingga tanda garis. Larutan harus selalu baru.
9. Standar 0 (larutan HClO_4 10%)
Dipipet 10 ml HClO_4 pekat (60%) ke dalam labu ukur 100 ml yang telah berisi air bebas ion kira-kira setengahnya, goyangkan dan tambahkan lagi air bebas ion hingga tepat 100 ml.
10. Standar pokok 1.000 ppm logam berat
Pindahkan secara kuantitatif larutan standar logam berat Titrisol di dalam ampul masing-masing ke dalam labu ukur 1.000 ml. Impitkan dengan bebas ion sampai dengan tanda garis, kocok.

11. Standar campuran 500 ppb Logam berat:

Pipet 0,5 ml standar pokok Logam berat ke dalam labu ukur 1.000 ml, kemudian diimpitkan dengan standar 0 hingga tanda garis.

12. Deret standar campuran 0; 10; 20; 30; 40 dan 50 ppb Logam berat:

Pipet masing-masing 0; 1; 2; 3; 4 dan 5 ml standar campuran 500 ppb ke dalam labu ukur 100 ml, kemudian diimpitkan dengan standar 0 hingga tanda garis. Larutan deret standar harus selalu baru.

Cara kerja:

Ditimbang teliti 2,500 g contoh tanah halus < 0,5 mm ke dalam tabung digest, ditambahkan 5 ml asam nitrat p.a, didiamkan satu malam. Esoknya dipanaskan pada suhu 100° C selama 1 jam 30 menit, dinginkan dan ditambahkan lagi 5 ml asam nitrat p.a. dan 1 ml asam perklorat p.a. Kemudian dipanaskan hingga 130° C selama 1 jam, suhu ditingkatkan lagi menjadi 150° C selama 2 jam 30 menit (sampai uap kuning habis, bila masih ada uap kuning waktu pemanasan ditambah lagi), setelah uap kuning habis suhu ditingkatkan menjadi 170° C selama 1 jam, kemudian suhu ditingkatkan menjadi 200° C selama 1 jam (hingga terbentuk uap putih). Destruksi selesai dengan terbentuknya endapan putih atau sisa larutan jernih sekitar 1 ml. Ekstrak didinginkan kemudian diencerkan dengan air bebas ion menjadi 25 ml, lalu dikocok hingga homogen, biarkan semalam. Ekstrak jernih digunakan untuk pengukuran logam berat dengan SSA yang dilengkapi generator uap dengan deret standar masing-masing sebagai pembanding. Pengukuran unsur logam berat

Preparasi contoh untuk pengukuran Pb:

Pipet masing-masing 1 ml deret standar campuran, ekstrak jernih dan blanko ke dalam tabung reaksi 30 ml. Tambahkan 15 ml NaI 2%, aduk dan biarkan paling sedikit 30 menit sebelum diukur. Logam berat lainnya dapat diukur langsung. Gas pembawa dialirkan, pereaksi Na-borohidrida, larutan HCl 1,2 N, dan deret standar/contoh dimasukkan ke dalam generator melalui pipa pengisap masing-masing.

Perhitungan:

Kadar logam berat (ppb)

$$= \text{ppb kurva} \times \text{ml ekstrak} / 1.000 \text{ ml} \times 1.000 / \text{g contoh} \times \text{fp} \times \text{fk}$$

$$= \text{ppb kurva} \times 100 \text{ ml} / 1.000 \text{ ml} \times 1.000 / \text{g contoh} \times \text{fp} \times \text{fk}$$

Keterangan:

ppb kurva = kadar contoh yang didapat dari kurva regresi hubungan antara kadar deret standar dengan pembacaannya setelah dikurangi blanko.

Fp = faktor pengenceran (bila ada)

fk = faktor koreksi kadar air

$$= 100 / (100 - \% \text{ kadar air})$$

A.8 Prosedur Analisis pH *Leachate*

Peralatan:

1. pH meter tangan
lakukan kalibrasi terhadap buffer pH 4,5 ; 6,8 ; dan 9;01.
2. Gelas kaca

Prosedur kerja analisis:

1. Letakan sampel *leachate* pada gelas kaca.
2. Masukkan pH meter kedalam akuades untuk memastikan tidak ada zat tercemar yang melekat pada pH meter.
3. Setelah itu angkat pH meter, dan seka dengan tisu dengan cara ditepuk-tepuk (jangan di usap), tunggu hingga pH menunjukkan angka 0.00.
4. Masukkan pH meter kedalam sampel *leachate* yang akan di uji tunggu sampai angka pada layar tidak berubah.
5. Catat nilai pH yang ditunjukkan.

A.9 Prosedur Analisis COD *Leachate*

Peralatan :

1. Neraca Analitis
2. Erlenmeyer 250 ml
3. Pipet tetes
4. Pipet ukur 10 ml
5. Pipet ukur 5 ml
6. Botol COD

Bahan :

1. Sampel
2. Aquades
3. $K_2Cr_2O_7$ 1N
4. Perak Sulfat
5. Larutan FAS 0,01 N
6. Indikator Ferroin

Pembuatan Reagen :

1. Larutan $K_2Cr_2O_7$ 1 N
 - a. Keringkan serbuk $K_2Cr_2O_7$ di dalam oven bersuhu $105^{\circ}C$ selama 1 jam
 - b. Masukkan serbuk $K_2Cr_2O_7$ kedalam desikator selama 15 menit
 - c. Timbang dengan teliti 2,4518 gram $K_2Cr_2O_7$ yang telah dikeringkan di oven $105^{\circ}C$.
 - d. Larutkan dengan aquades hingga 500 mL menggunakan labu pengencer 500 mL
2. Perak sulfat
Digunakan langsung dari botol (disediakan oleh laboran)
3. Larutan Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,1 N
 - a. Timbang dengan teliti 39,2 gram $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$
 - b. Tambahkan 15 mL H_2SO_4 pekat
 - c. Encerkan dengan aquades hingga 1 L dengan menggunakan labu pengencer 1 L
 - d. Encerkan setiap 20 mL larutan FAS 0,1 N yang dibuat dengan 200 mL aquades, sehingga didapati larutan FAS 0,01 N
4. Larutan Indikator Ferroin
 - a. Timbang 0,7425 gram Orthophenanthroline dan 0,3475 gram $FeSO_4 \cdot 7H_2O$
 - b. Masukkan kedua serbuk yang sudah di timbang ke dalam botol kaca
 - c. Tambahkan 50 mL aquades, aduk hingga tercampur sempurna
 - d. Letakkan dalam botol gelap dan terhindar dari sinar matahari

Prosedur Analisis :

1. Maukan larutan sampel sebanyak 0,1 mL kedalam gelas.
2. Tambahkan aquades hingga 10 ml
3. Ambil 1 ml sampel yang sudah diencerkan dan masukkan ke dalam tabung COD
4. Larutan Kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) ditambahkan sebanyak 1,5 ml dan kocok
5. Larutan campuran asam (H_2SO_4) dan perak ditambahkan sebanyak 3,5 mL dan kocok hingga merata
6. Panaskan hingga 2 jam
7. Lakukan langkah yang sama untuk blanko
8. Dinginkan selama 20-30 menit
9. Tambahkan indikator ferroin sebanyak 1 tetes
10. Titrasi menggunakan larutan standart FAS 0,01 N hingga warna biru-hijau berubah menjadi merah-coklat permanen
11. Perhitungan nilai COD dilakukan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$COD (mg/L) = \frac{(A-B)}{V_{sampel}} \times N_{FAS} \times 8000 \times P$$

dengan:

- A = mL $FeSO_4$ untuk titrasi blanko
B = mL $FeSO_4$ untuk titrasi sampel
N = Normalitas larutan FAS
P = faktor pengenceran sampel

LAMPIRAN B HASIL ANALISIS

B.1 Perhitungan Kuantitas Gas Harian

Hari ke-	Kuantitas Gas (mL) / Reaktor															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	350	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1010	0	0
3	0	0	0	0	0	550	0	0	0	0	0	0	0	950	0	0
4	0	0	0	0	0	2120	0	0	0	0	0	0	0	1280	10	0
5	0	0	0	0	0	3190	20	0	10	10	10	10	0	1075	10	10
6	10	0	0	0	0	2560	0	0	0	10	10	10	0	1220	10	0
7	0	10	10	10	10	2540	0	10	0	20	0	0	0	1550	0	10
8	0	10	0	10	10	3110	20	0	0	0	0	0	0	1330	0	0
9	10	0	0	0	0	2700	20	20	0	20	10	0	0	1350	220	20
10	240	10	0	1060	30	440	2100	15	10	0	10	0	0	890	180	0
11	20	20	0	40	20	0	1300	0	0	0	0	0	0	810	110	20
12	340	30	10	530	130	0	1500	10	0	0	20	0	0	940	0	0
13	90	210	0	110	60	0	720	0	0	0	0	0	0	1025	0	0
14	610	30	0	740	40	0	1200	10	0	10	0	0	0	790	0	0
15	110	10	0	130	20	0	1450	0	0	10	10	10	10	925	0	0
16	840	20	0	930	10	0	1320	30	10	0	20	0	0	680	0	0
17	990	20	0	1020	20	0	1520	20	10	0	30	0	0	825	0	0
18	830	10	10	880	30	10	1130	30	10	20	30	10	10	800	0	0

(Lanjutan Tabel B1)

Hari ke-	Kuantitas Gas (mL) / Reaktor															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
21	0	0	0	10	40	0	210	0	0	0	10	0	0	80	0	0
22	10	30	10	20	60	10	320	0	0	0	0	0	0	180	0	0
23	710	40	0	640	310	0	780	20	0	0	10	10	0	840	0	10
25	710	230	0	720	220	0	720	10	10	0	0	0	0	570	0	30
26	700	30	0	710	180	0	560	30	0	10	10	10	0	780	80	120
27	760	10	10	880	80	0	710	30	10	10	20	0	0	860	0	0
28	740	20	0	780	280	0	890	20	10	0	0	0	10	730	0	0
31	720	20	0	860	40	10	840	30	20	10	20	10	10	610	0	0
32	90	10	0	230	30	0	400	20	0	0	10	0	0	330	0	0
33	600	20	0	510	30	10	490	10	10	0	10	0	0	210	40	0
34	240	40	10	300	180	0	410	10	10	0	0	0	0	200	60	20
35	310	30	0	260	100	10	350	30	10	0	20	10	0	230	0	50
36	40	20	0	220	60	0	370	120	0	20	0	20	0	140	70	0
38	360	20	40	510	80	20	310	0	0	30	30	0	0	10	0	10
39	300	80	10	360	30	20	280	20	10	0	110	0	0	210	0	0
40	260	20	0	310	20	0	240	10	20	0	20	0	10	10	120	20
41	30	10	0	240	0	80	200	210	20	0	10	20	0	150	0	20
42	210	30	0	180	120	0	170	0	40	10	20	20	20	0	230	0

(Lanjutan Tabel B1)

Hari ke-	Kuantitas Gas (mL) / Reaktor															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
43	160	10	20	120	30	0	150	10	30	0	0	30	0	310	140	10
45	210	80	0	270	40	0	180	30	0	0	20	0	0	430	0	0
46	20	10	0	110	10	30	90	10	10	0	10	0	0	10	80	10
47	60	0	20	130	30	0	50	0	0	0	0	10	0	20	0	0
48	110	0	10	100	110	0	20	10	20	10	0	0	0	10	60	20
49	40	10	0	50	20	0	0	10	0	40	10	0	0	210	0	10
50	60	20	0	60	20	20	10	20	10	0	0	10	10	0	0	0
52	140	110	0	160	30	0	20	10	10	0	20	0	0	10	20	10
53	10	20	20	40	60	10	30	0	10	0	10	0	0	20	0	0
54	20	0	10	60	20	0	20	20	0	0	0	0	0	20	10	0
Rata-rata	255	28	4	311	57	15	822	19	7	4	12	4	2	543	32	9

Keterangan:

: Variasi sampah dengan tanah penutup 15 cm

: Variasi sampah dengan tanah penutup 20 cm

: Variasi sampah dengan tanah penutup 30 cm

: Variasi sampah tanpa tanah penutup

B.2 Perhitungan Akumulasi Kuantitas Gas Harian

Hari ke- 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14	Akumulasi Kuantitas Gas (mL) / Reaktor															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	350	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1360	0	0
3	0	0	0	0	0	0	550	0	0	0	0	0	0	2310	0	0
4	0	0	0	0	0	0	2670	0	0	0	0	0	0	3590	10	0
5	0	0	0	0	0	0	5860	20	0	10	10	10	0	4665	20	10
6	10	0	0	0	0	0	8420	20	0	10	20	20	0	5885	30	10
7	10	10	10	10	10	0	10960	20	10	10	40	20	0	7435	30	20
8	10	20	10	20	20	0	14070	40	10	10	40	20	0	8765	30	20
9	20	20	10	20	20	0	16770	60	30	10	60	30	0	10115	250	40
10	260	30	10	1080	50	440	18870	75	40	10	70	30	0	11005	430	40
11	280	50	10	1120	70	440	20170	75	40	10	70	30	0	11815	540	60
12	620	80	20	1650	200	440	21670	85	40	10	90	30	0	12755	540	60
13	710	290	20	1760	260	440	22390	85	40	10	90	30	0	13780	540	60
14	1320	320	20	2500	300	440	23590	95	40	10	100	30	0	14570	540	60

(Lanjutan Tabel B2)

Hari ke-	Akumulasi Kuantitas Gas (mL) / Reaktor															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
15	1430	330	20	2630	320	440	25040	95	40	20	110	40	10	15495	540	60
16	2270	350	20	3560	330	440	26360	125	50	20	130	40	10	16175	540	60
17	3260	370	20	4580	350	440	27880	145	60	20	160	40	10	17000	540	60
18	4090	380	30	5460	380	450	29010	175	70	40	190	50	20	17800	540	60
21	4090	380	30	5470	420	450	29220	175	70	40	200	50	20	17880	540	60
22	4100	410	40	5490	480	460	29540	175	70	40	200	50	20	18060	540	60
23	4810	450	40	6130	790	460	30320	195	70	40	210	60	20	18900	540	70
25	5520	680	40	6850	1010	460	31040	205	80	40	210	60	20	19470	540	100
26	6220	710	40	7560	1190	460	31600	235	80	50	220	70	20	20250	620	220
27	6980	720	50	8440	1270	460	32310	265	90	60	240	70	20	21110	620	220
28	7720	740	50	9220	1550	460	33200	285	100	60	240	70	30	21840	620	220
31	8440	760	50	10080	1590	470	34040	315	120	70	260	80	40	22450	620	220
32	8530	770	50	10310	1620	470	34440	335	120	70	270	80	40	22780	620	220
33	9130	790	50	10820	1650	480	34930	345	130	70	280	80	40	22990	660	220

(Lanjutan Tabel B2)

Hari ke-	Akumulasi Kuantitas Gas (mL) / Reaktor															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
34	9370	830	60	11120	1830	480	35340	355	140	70	280	80	40	23190	720	240
35	9680	860	60	11380	1930	490	35690	385	150	70	300	90	40	23420	720	290
36	9720	880	60	11600	1990	490	36060	505	150	90	300	110	40	23560	790	290
38	10080	900	100	12110	2070	510	36370	505	150	120	330	110	40	23570	790	300
39	10380	980	110	12470	2100	530	36650	525	160	120	440	110	40	23780	790	300
40	10640	1000	110	12780	2120	530	36890	535	180	120	460	110	50	23790	910	320
41	10670	1010	110	13020	2120	610	37090	745	200	120	470	130	50	23940	910	340
42	10880	1040	110	13200	2240	610	37260	745	240	130	490	150	70	23940	1140	340
43	11040	1050	130	13320	2270	610	37410	755	270	130	490	180	70	24250	1280	350
45	11250	1130	130	13590	2310	610	37590	785	270	130	510	180	70	24680	1280	350
46	11270	1140	130	13700	2320	640	37680	795	280	130	520	180	70	24690	1360	360
47	11330	1140	150	13830	2350	640	37730	795	280	130	520	190	70	24710	1360	360
48	11440	1140	160	13930	2460	640	37750	805	300	140	520	190	70	24720	1420	380
49	11480	1150	160	13980	2480	640	37750	815	300	180	530	190	70	24930	1420	390
50	11540	1170	160	14040	2500	660	37760	835	310	180	530	200	80	24930	1420	390
52	11680	1280	160	14200	2530	660	37780	845	320	180	550	200	80	24940	1440	400
53	11690	1300	180	14240	2590	670	37810	845	330	180	560	200	80	24960	1440	400
54	11710	1300	190	14300	2610	670	37830	865	330	180	560	200	80	24980	1450	400

B.3 Perhitungan Kuantitas Leachate

Minggu ke-	Kuantitas Leachate (mL) / Reaktor															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	920	915	925	920	930	915	940	1180	1290	1300	1280	1260	1240	1315	1120	1135
2	2850	2725	2800	2750	2700	2750	2900	2600	2800	2850	2750	2950	2750	2600	1220	1320
3	4000	3500	3400	3900	3750	3600	5700	3200	3050	2850	3250	2900	2650	5550	1460	1380
4	2150	1950	1950	2500	2150	1900	2200	2150	1950	1800	2050	1950	1850	2100	1680	1710
5	1050	700	600	850	800	700	1050	900	650	550	850	650	450	900	1810	1800
6	750	450	500	800	500	450	850	750	550	400	650	500	400	800	1235	1260
7	600	400	300	600	350	400	770	600	400	350	550	450	300	700	930	940
8	450	250	200	500	300	300	600	550	350	275	400	300	300	500	750	680
Rata-rata	1596	1361	1334	1503	1435	1377	1876	1491	1380	1297	1473	1370	1243	1808	1276	1278

Keterangan :

- : Variasi sampah dengan tanah penutup 15 cm
- : Variasi sampah dengan tanah penutup 20 cm
- : Variasi sampah dengan tanah penutup 30 cm
- : Variasi sampah tanpa tanah penutup

B.4 Perhitungan Akumulasi Kuantitas Leachate

Minggu ke-	Akumulasi Kuantitas Leachate (mL) / Reaktor															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	920	915	925	920	930	915	940	1180	1290	1300	1280	1260	1240	1315	1120	1135
2	3770	3640	3725	3670	3630	3665	3840	3780	4090	4150	4030	4210	3990	3915	2340	2455
3	7770	7140	7125	7570	7380	7265	9540	6980	7140	7000	7280	7110	6640	9465	3800	3835
4	9920	9090	9075	10070	9530	9165	11740	9130	9090	8800	9330	9060	8490	11565	5480	5545
5	10970	9790	9675	10920	10330	9865	12790	10030	9740	9350	10180	9710	8940	12465	7290	7345
6	11720	10240	10175	11720	10830	10315	13640	10780	10290	9750	10830	10210	9340	13265	8525	8605
7	12320	10640	10475	12320	11180	10715	14410	11380	10690	10100	11380	10660	9640	13965	9455	9545
8	12770	10890	10675	12820	11480	11015	15010	11930	11040	10375	11780	10960	9940	14465	10205	10225

B.5 Perhitungan COD Leachate

Minggu ke-	COD Leachate (mg/L)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	21600	21600	20800	21600	21600	21600	21600	21600	21600	22400	21600	21600	22400	21600	23200	23600
2	22320	22320	22560	22240	22320	22480	25600	23760	23600	24560	24000	24080	24320	24800	25600	25200
3	20720	21760	22400	20960	22240	22400	20080	17760	14720	13040	18480	17760	15920	19760	22800	22800
4	18160	20720	17520	15120	21520	18960	17520	11200	11920	18240	10240	11200	13520	17680	20400	19600
5	17560	17840	18880	17960	18200	21320	20720	20320	20640	20280	19160	19120	28560	14850	17600	17200
6	21600	22720	23080	20760	21560	22400	24760	24000	23560	22800	23160	23600	23200	24440	14400	13600
7	15200	11600	8800	14400	12800	9600	20000	17600	15600	12800	16800	14000	12400	19600	16000	15200
8	17200	13800	8000	16400	13600	9200	15600	16400	14400	12800	15600	14000	10800	14400	11600	10400
Rata-rata	19295	19045	17755	18680	19250	18495	20735	19080	18255	18365	18630	18170	18890	19641	18950	18450
Keterangan :																
:Variasi sampah dengan tanah penutup 15 cm																
:Variasi sampah dengan tanah penutup 20 cm																
:Variasi sampah dengan tanah penutup 30 cm																
:Variasi sampah tanpa tanah penutup																

B.6 Perhitungan pH Leachate

Minggu ke-	pH Leachate															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	4.89	4.87	4.78	4.86	4.89	4.86	4.88	4.85	4.80	4.79	4.81	4.83	4.88	4.87	4.61	4.63
2	4.65	4.66	4.58	4.63	4.66	4.64	4.59	4.60	4.62	4.65	4.63	4.62	4.64	4.60	4.59	4.60
3	5.08	5.05	4.71	5.09	5.05	4.83	5.12	4.82	4.97	5.07	4.89	5.00	5.08	5.12	4.81	4.79
4	4.97	4.98	4.99	4.96	4.98	5.00	5.00	4.99	4.98	5.06	4.93	4.95	5.05	5.01	5.01	4.98
5	5.63	5.65	5.78	5.67	5.64	5.79	5.60	5.66	5.57	5.61	5.69	5.60	5.60	5.61	5.23	5.19
6	5.00	5.00	5.14	5.02	4.99	5.17	5.00	5.04	4.95	5.21	5.03	4.99	5.20	5.02	5.36	5.42
7	5.76	5.51	5.68	5.73	5.53	5.70	5.40	5.62	5.58	5.68	5.64	5.61	5.68	5.48	6.11	5.97
8	5.91	5.93	6.00	6.00	5.94	5.98	6.12	5.87	5.90	5.91	5.79	5.88	5.90	6.12	6.22	6.24
Rata-rata	5.24	5.21	5.21	5.25	5.21	5.25	5.21	5.18	5.17	5.25	5.18	5.19	5.25	5.23	5.24	5.23

Keterangan :

: Variasi sampah dengan tanah penutup 15 cm

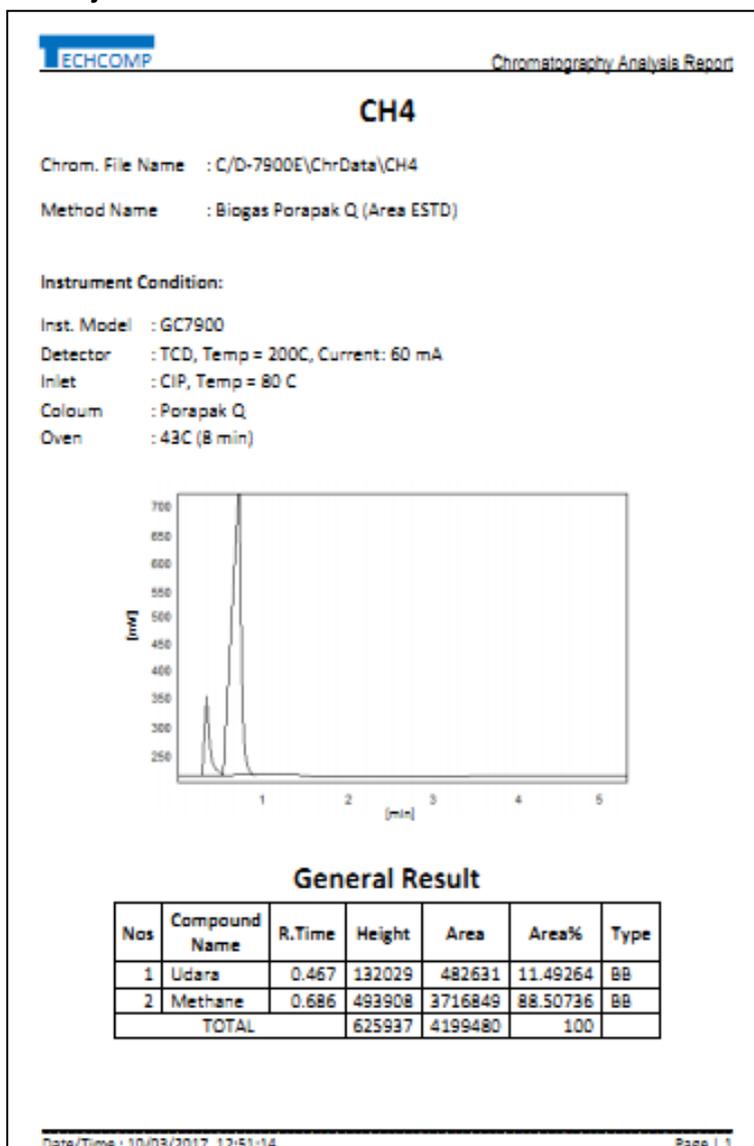
: Variasi sampah dengan tanah penutup 20 cm

: Variasi sampah dengan tanah penutup 30 cm

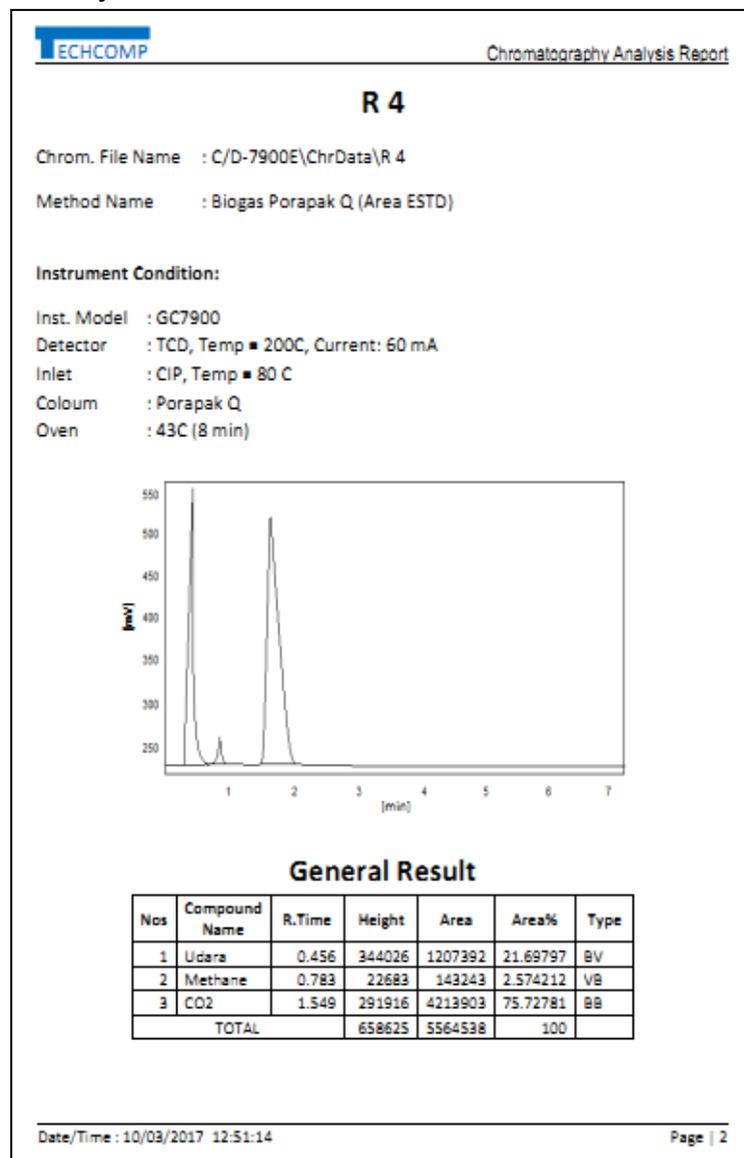
: Variasi sampah tanpa tanah penutup

B.7 Uji Laboratorium Gas Methan

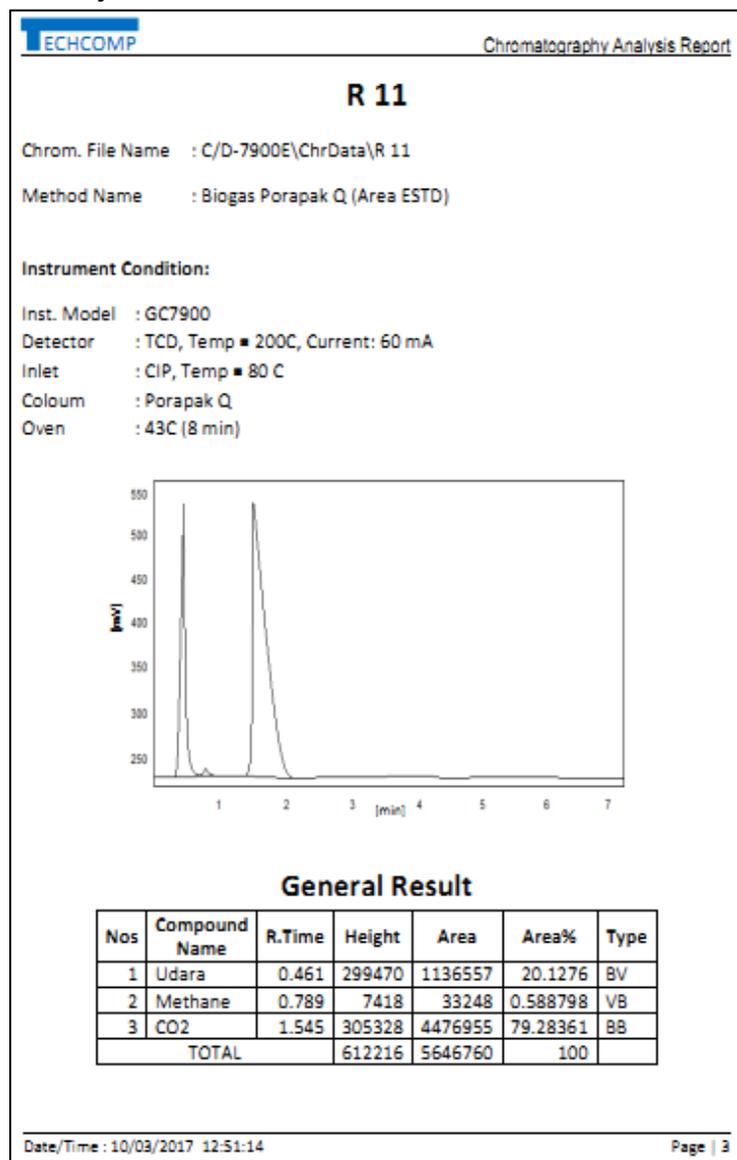
B.7.1 Uji GC Gas Methan Murni



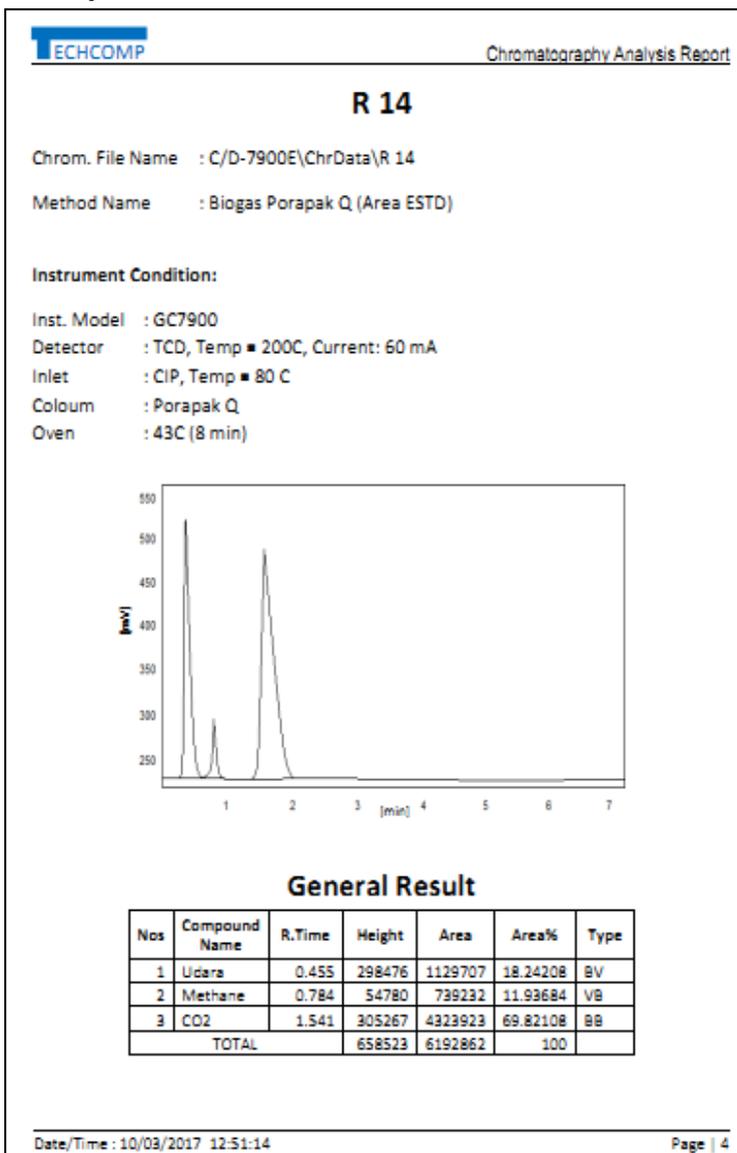
B.7.2 Uji GC Gas Methan Reaktor 4



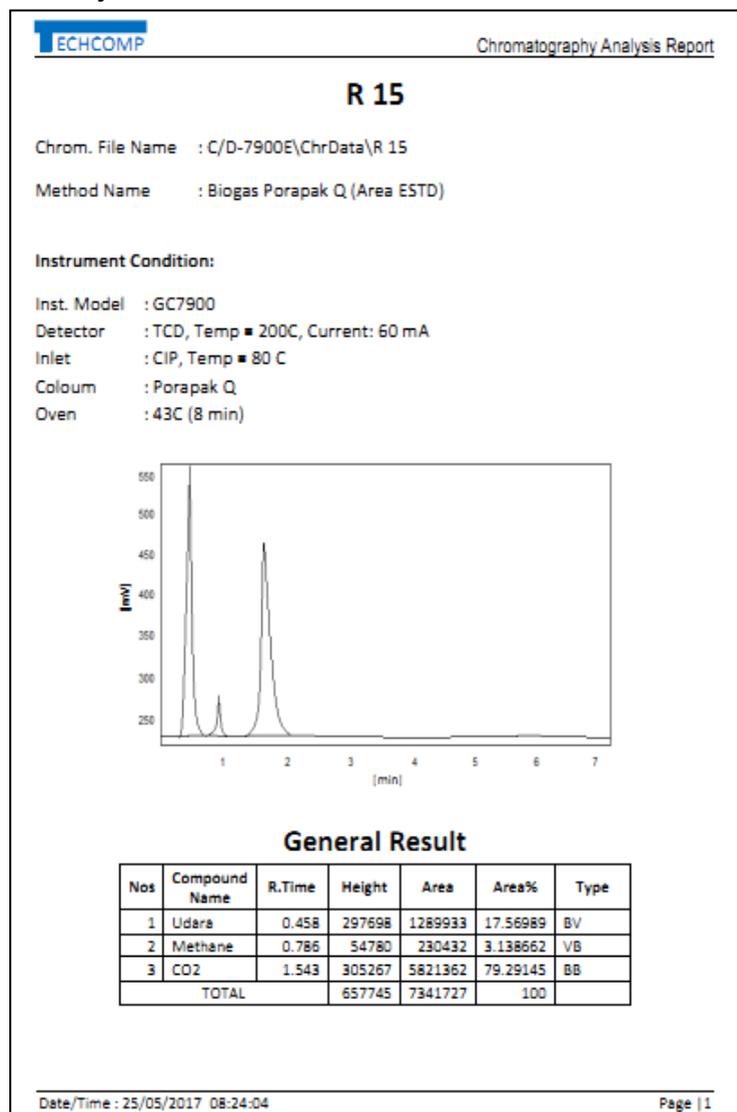
B.7.3 Uji GC Gas Methan Reaktor 11



B.7.4 Uji GC Gas Methan Reaktor 14



B.7.5 Uji GC Gas Methan Reaktor 15



B.8 Uji Laboratorium Kimia Sampah Terdegradasi
B.8.1 Uji Laboratorium Kimia Sampah TPA Benowo



BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR

REPORT

Certificate of Analysis

No : 06578/KI/II-2017
Code : AK 113
Sample Sender : Gian Chrystiadini
Sample Name : TPA Benowo
Test : (tertera)
Sample Brand : No Brand
Sample Idently : Padatan hitam keabu-abuan
Sample Accepted : 26 Januari 2017

Chemical laboratory test result is :

Karakteristik Uji	Hasil	Karakteristik Uji	Hasil
C-organik (%)	8,16	pH	7,82
Hidrogen (%)	-	C/N rasio	17,00
Oksigen (%)	-	Kadar Pb (ppm)	16,96
N-total (%)	0,48	Kadar Cu (ppm)	12,84

Surabaya, 2 Februari 2017

Chemical Laboratory Researcher

M. Fatoni, M. S.

Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no. 14
Telp. 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
Surabaya

B.8.2 Uji Laboratorium Kimia Sampah TPA Keputih



BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR

REPORT

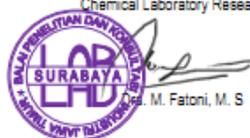
Certificate of Analysis

No : 06578/KI/II-2017
Code : AK 113
Sample Sender : Gian Chrystiadini
Sample Name : TPA Keputih
Test : (tertera)
Sample Brand : No Brand
Sample Identity : Padatan hitam keabu-abuan
Sample Accepted : 26 Januari 2017

Chemical laboratory test result is :

Karakteristik Uji	Hasil	Karakteristik Uji	Hasil
C-organik (%)	7,92	pH	7,25
Hidrogen (%)	-	C/N rasio	20,31
Oksigen (%)	-	Kadar Pb (ppm)	21,87
N-total (%)	0,39	Kadar Cu (ppm)	15,15

Surabaya, 2 Februari 2017
Chemical Laboratory Researcher



M. Fatoni, M. S.

Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no. 14
Telp. 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
Surabaya

B.8.3 Uji Laboratorium Kimia Tanah Penutup Biasa



BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR

REPORT

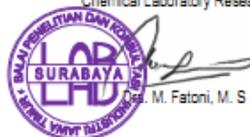
Certificate of Analysis

No : 02732/KI/IV-2017
Code : AK 113
Sample Sender : Gian Chrystiadini
Sample Name : TPA Tlelung
Test : (tertera)
Sample Brand : No Brand
Sample Identity : Padatan hitam keabu-abuan
Sample Accepted : 17 April 2017

Chemical laboratory test result is :

Karakteristik Uji	Hasil
pH	7.04
Kadar Pb (ppm)	0,0025
Kadar Cu (ppm)	0,0003

Surabaya, 20 April 2017
Chemical Laboratory Researcher



Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no. 14
Telp. 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
Surabaya

B.8.4 Uji Laboratorium Kimia Sampah Pasar Keputran



BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI

LABORATORIUM PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR

REPORT

Certificate of Analysis

No : 06978/KI/II-2017
Code : AK 113
Sample Sender : Gian Chrystiadini
Sample Name : Sampah TPA Pasar Keputran
Test : (tertera)
Sample Brand : No Brand
Sample Idently : Padatan hitam keabu-abuan
Sample Accepted : 26 Januari 2017

Chemical laboratory test result is :

Karakteristik Uji	Hasil	Karakteristik Uji	Hasil
C-organik (%)	51,72	pH	5,5
Hidrogen (%)	6,81	C/N rasio	26,52
Oksigen (%)	37,22	Kadar Pb (ppm)	-
N-total (%)	1,95	Kadar Cu (ppm)	-

Surabaya, 2 Februari 2017
Chemical Laboratory Researcher

M. Faton, M. S.

Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no. 14
Telp. 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
Surabaya

B.8.4 Uji Laboratorium Kimia Akhir Penelitian



BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR

REPORT

Certificate of Analysis

No : 0294/KI/V-2017
Code : AK 731
Sample Sender : Gian Chrystiadini
Sample Name : Sampah Biocover
Test : Logam Berat Pb
Sample Brand : No Brand
Sample Idently : Padatan hitam keabu-abuan
Sample Accepted : 20 April 2017

Chemical laboratory test result is :

Kode Sampel	Hasil	Kode Sampel	Hasil
Reaktor 1	9.12	Reaktor 8	16.33
Reaktor 2	7.86	Reaktor 9	13.02
Reaktor 3	6.64	Reaktor 10	9.45
Reaktor 4	8.93	Reaktor 11	18.43
Reaktor 5	9.15	Reaktor 12	14.32
Reaktor 6	4.29	Reaktor 13	8.27

Surabaya, 24 April 2017
Chemical Laboratory Researcher

M. Fatoni, M. S.

Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII no. 14
Telp. 08155151337, Bank BCA – Bank Jatim
Surabaya

B.9 Uji Karakteristik Fisik Sampah Terdegradasi

B.9.1 Uji Karakteristik Fisik Sampah TPA Benowo



CV. BINERKAHAN ENGINEERING

Kantor : Jl. Nginden VI/55 - Surabaya (60118)

Fax/Telp : (031) - 594 - 4378 - HP : 085 102 727 125, 081 330 893 605

Workshop : Ds. Jabon, RT 14 / RW 09 Kec. Mojoanyar, Mojokerto

E-mail : setio_oh@yahoo.co.id

HASIL UJI LABORATORIUM PEKERJAAN SOIL TEST BORING DI LOKASI TPA BENOWO SURABAYA

Code Sampel : 3213/121/XII-2016
Client : Gian Chrystiadini
Project : Penelitian
Soil Test by : Lab Mektan ITS
Sample Accepted : 24 Nopember 2016

Uji laboratorium menunjukkan:

Uji Lab	Hasil	Uji Lab	Hasil
Kadar Air (%)	70,21	Sand (pasir) (%)	54,12
Kadar Volatil (%)	39,12	Silt (Lanau) (%)	32,34
Permeabilitas (cm/s)	$2,22 \times 10^{-5}$	Clay (Lempung) (%)	13,54
Porositas	0,53		

Ditetapkan di Surabaya,
19 Desember 2016

Data hanya sebagai informasi melalui alamat elektronik (email). Untuk pengesahan data harap meminta stempel perusahaan.

B.9.2 Uji Karakteristik Fisik Sampah TPA Keputih



CV. BINERKAHAN ENGINEERING

Kantor : Jl. Nginden VI/55 - Surabaya (60118)

Fax/Telp : (031) - 594 - 4378 - HP : 085 102 727 125, 081 330 893 605

Workshop : Ds. Jabon, RT 14 / RW 09 Kec. Mojoanyar, Mojokerto

E-mail : setio_oh@yahoo.co.id

HASIL UJI LABORATORIUM PEKERJAAN SOIL TEST BORING DI LOKASI TPA KEPUTIH SURABAYA

Code Sampel : 3214/121/XII-2016
Client : Gian Chrystiadini
Project : Penelitian
Soil Test by : Lab Mektan ITS
Sample Accepted : 24 Nopember 2016

Uji laboratorium menunjukkan:

Uji Lab	Hasil	Uji Lab	Hasil
Kadar Air (%)	57.75	Sand (pasir) (%)	58.21
Kadar Volatil (%)	30.56	Silt (Lanau) (%)	24.66
Permeabilitas (cm/s)	$1,01 \times 10^{-5}$	Clay (Lempung) (%)	17.13
Porositas	0.64		

Ditetapkan di Surabaya,
19 Desember 2016

Data hanya sebagai informasi melalui alamat elektronik (email). Untuk pengesahan data harap meminta stempel perusahaan.

B.9.3 Uji Karakteristik Fisik Tanah Penutup Biasa



CV. BINERKAHAN ENGINEERING

Kantor : Jl. Nginden VI/55 - Surabaya (60118)
Fax/Telp : (031) - 594 - 4378 - HP : 085 102 727 125, 081 330 893 605
Workshop : Ds. Jabon, RT 14 / RW 09 Kec. Mojoanyar, Mojokerto
E-mail : setio_oh@yahoo.co.id

HASIL UJI LABORATORIUM SAMPSEL TANAH TPA TLEKUNG BATU

Code Sampel : 3141/164/IV-2017
Client : Gian Chrystiadini
Project : Penelitian
Soil Test by : Lab Mektan ITS
Sample Accepted : 18 April 2017

Uji laboratorium menunjukkan:

Uji Lab	Hasil	Uji Lab	Hasil
Kadar Air (%)	34.14	Sand (pasir) (%)	21.12
Kadar Volatil (%)	18.89	Silt (Lanau) (%)	18.27
Permeabilitas (cm/s)	$0,11 \times 10^{-6}$	Clay (Lempung) (%)	60.61
Porositas	0.56		

Ditetapkan di Surabaya,
28 April 2017

Data hanya sebagai informasi melalui alamat elektronik (email). Untuk pengesahan data harap meminta stempel perusahaan.

B.9.4 Uji Karakteristik Fisik Sampah Pasar Keputran



CV. BINERKAHAN ENGINEERING

Kantor : Jl. Nginden VI/55 - Surabaya (60118)
Fax/Telp : (031) - 594 - 4378 - HP : 085 102 727 125, 081 330 893 605
Workshop : Ds. Jabon, RT 14 / RW 09 Kec. Mojoanyar, Mojokerto
E-mail : setio_oh@yahoo.co.id

HASIL UJI LABORATORIUM SAMPOL SAMPAH PASAR KEPUTRAN SURABAYA

Code Sampel : 2127/103/II-2017
Client : Gian Chrystiadini
Project : Penelitian
Soil Test by : Lab Mektan ITS
Sample Accepted : 20 Februari 2017

Uji laboratorium menunjukkan:

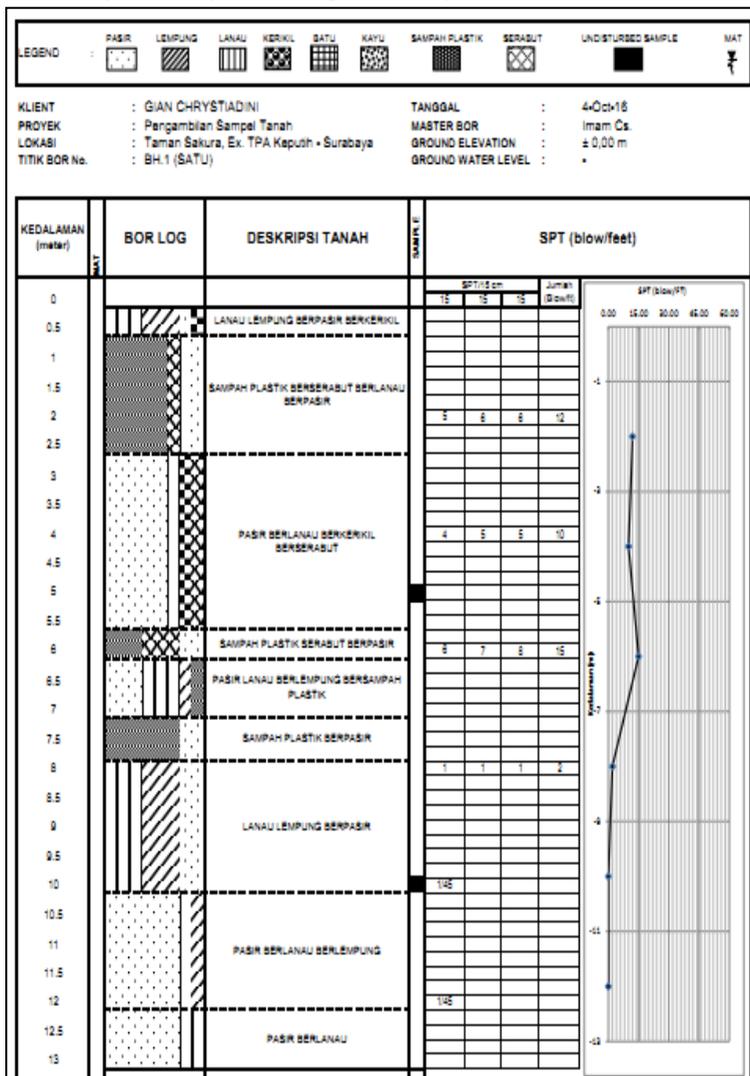
Uji Lab	Hasil
Kadar Air (%)	80,12
Kadar Volatil (%)	88,21

Ditetapkan di Surabaya,
6 Maret 2017

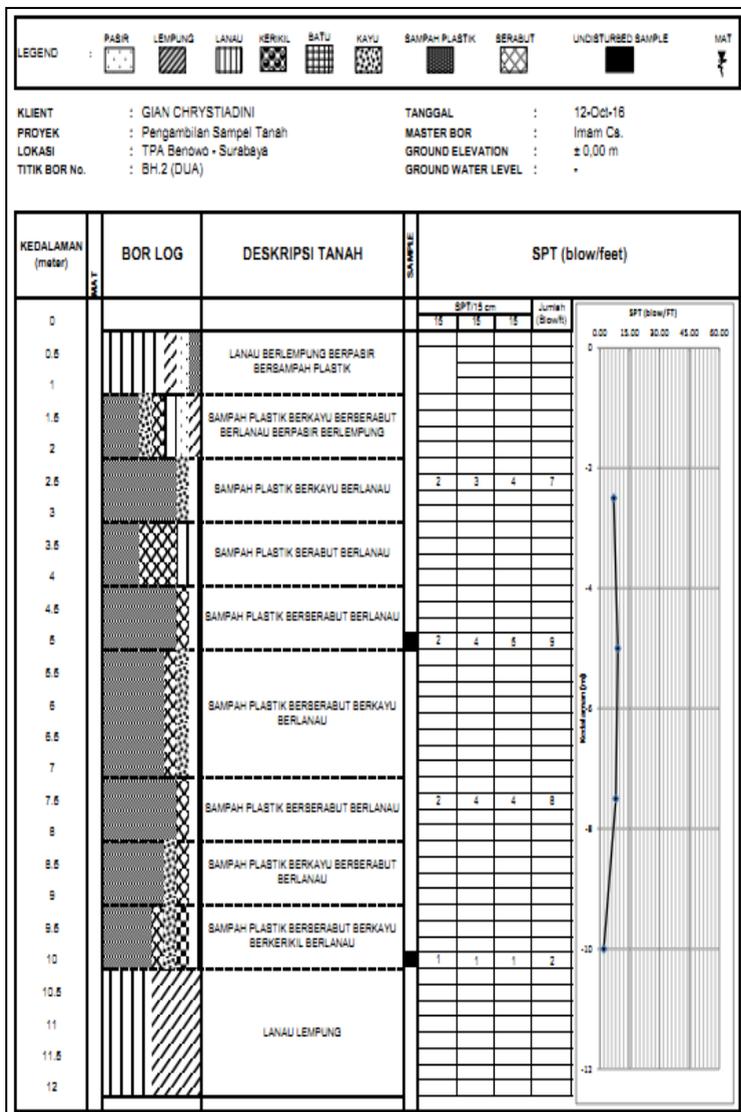
Data hanya sebagai informasi melalui alamat elektronik (email). Untuk pengesahan data harap meminta stempel perusahaan.

B.10 Uji Deskripsi Boring

B.10.1 Uji Deskripsi Boring TPA Keputih



B.10.2 Uji Deskripsi Boring TPA Benowo



B.11 Perhitungan Akhir Kadar Air & Kadar Volatil Setiap Reaktor

Nomor Cawan	Keterangan	Berat Cawan	Berat Cawan + Sampah Basah	Berat sampah kering	Berat cawan + Sampah kering	Berat sampah kering	Kadar air (%)	Berat Cawan + Sampah Bakar	Berat Sampah Bakar	Kadar Volatil (%)
		a	b	c (b-a)	d	e (d-a)		f	g (f-a)	
Cawan 1	Biocover R1	28.349	50.2975	21.949	38.7454	10.397	52.6320	33.3024	4.9537	52.3532
Cawan 2	Biocover R2	20.258	40.1769	19.919	30.0468	9.7893	50.8554	26.4403	6.1828	36.8412
Cawan 3	Biocover R3	22.93	43.7067	20.777	34.0882	11.159	46.2935	31.7152	8.7857	21.2659
Cawan 4	Biocover R8	24.474	55.3545	30.881	38.7584	14.285	53.7425	34.6774	10.2037	28.5690
Cawan 5	Biocover R9	21.318	42.2103	20.893	31.7547	10.437	50.0445	28.0927	6.775	35.0867
Cawan 6	Biocover R10	24.041	38.6929	14.652	32.0549	8.0138	45.3050	28.599	4.5579	43.1244
Cawan 7	Sampah R7	21.218	42.5373	21.32	35.4334	14.216	33.3210	22.3323	1.1146	92.1594
Cawan 8	Sampah R1	23.381	39.5793	16.198	27.2776	3.8962	75.9463	24.3808	0.9994	74.3494
Cawan 9	Sampah R2	25.489	40.7922	15.304	28.3163	2.8277	81.5226	26.4473	0.9587	66.0961
Cawan 10	Sampah R3	18.546	33.8436	15.298	21.4411	2.8956	81.0722	19.5173	0.9718	66.4387
Cawan 11	Sampah R8	19.684	35.6761	15.993	22.2864	2.6029	83.7243	20.3191	0.6356	75.5811
Cawan 12	Sampah R9	25.656	42.7488	17.093	28.5513	2.8958	83.0589	26.4771	0.8216	71.6279
Cawan 13	Sampah R10	20.084	34.9665	14.882	22.7358	2.6516	82.1829	20.7553	0.6711	74.6908
Cawan 14	Sampah R14	23.483	37.1602	13.677	32.6181	9.135	33.2095	24.2026	0.7195	92.1237

B.11 Perhitungan Akhir Kadar Air & Kadar Volatil Setiap Reaktor

Nomor Cawan	Keterangan	Berat Cawan	Berat Cawan + Sampah Basah	Berat sampah	Berat cawan + Sampah Kering	Berat sampah kering	Kadar air (%)	Berat Cawan + Sampah Bakar	Berat Sampah Bakar	Kadar Volatil (%)
		a	b	c (b-a)	d	e (d-a)		f	g (f-a)	
Cawan 1	Biocover R4	28.349	43.2425	14.894	35.5335	7.1848	51.7598	31.8255	3.4768	51.6090
Cawan 2	Biocover R5	20.258	37.4535	17.196	28.5879	8.3304	51.5562	25.3788	5.1213	38.5228
Cawan 3	Biocover R6	22.93	32.4535	9.524	27.9230	4.9935	47.5693	26.6758	3.7463	24.9765
Cawan 4	Biocover R11	24.474	46.5433	22.07	34.7895	10.316	53.2579	31.9645	7.4908	27.3852
Cawan 5	Biocover R12	21.318	36.4534	15.136	28.8368	7.5181	50.3287	26.2376	4.9199	34.5593
Cawan 6	Biocover R13	24.041	41.7867	17.746	33.7369	9.6958	45.3622	29.5453	5.5042	43.2311
Cawan 8	Sampah R4	23.381	43.5654	20.184	28.4747	5.0933	74.7657	24.7643	1.3829	72.8486
Cawan 9	Sampah R5	25.489	50.5655	25.077	30.2757	4.7871	80.9103	27.1686	1.68	64.9057
Cawan 10	Sampah R6	18.546	34.3546	15.809	21.4054	2.8599	81.9098	19.4654	0.9199	67.8345
Cawan 11	Sampah R11	19.684	32.6433	12.96	21.7785	2.095	83.8346	20.2132	0.5297	74.7160
Cawan 12	Sampah R12	25.656	40.6745	15.019	28.2657	2.6102	82.6207	26.3242	0.6687	74.3813
Cawan 13	Sampah R13	20.084	36.7433	16.659	23.1844	3.1002	81.3904	20.7849	0.7007	77.3982

LAMPIRAN C DOKUMENTASI

C.1 Dokumentasi Pengambilan Sampel Sampah Bekas TPA Keputih Surabaya



C.2 Dokumentasi Pengambilan Sampel Sampah TPA Benowo Surabaya



**C.3 Dokumentasi Pengambilan Sampel Sampah Pasar
Keputran Surabaya**



C.4 Dokumentasi Perangkaian Reaktor



C.5 Dokumentasi Pengambilan Sampel *Leachate*



C.6 Dokumentasi Uji COD *Leachate*



C.7 Dokumentasi Pengambilan Sampel Gas



C.8 Dokumentasi Pembongkaran Reaktor



C.9 Dokumentasi Pengukuran Karakteristik Akhir



C.10 Dokumentasi Penampang Akhir Materi Uji



C.11 Dokumentasi Uji Kadar Air dan Kadar Volatil



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : GIAN CHRYSIADINI
NRP : 3312100069
Judul : *THE IMPACT OF DEGRADED SOLID WASTE USAGE AS A DAILY
LANDFILL COVER SOIL ON FORMATION OF METHANE AND LEACHATE*

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	05-09-2016	Revisi proposal TA sesuai tanda yang diberikan di kertas. masih banyak typo, teliti dan perbaiki lagi.	
2	12-09-2016	- penambahan keterangan karakteristik sudah ok. - urutan ruang lingkup sudah diperbaiki - cetak proposal sesuai dengan ketentuan	
3	06-10-2016	- pengambilan sampel TPA Keputih sudah terlaksana. - uji gravimetri-volumetri menunggu keputusan lab. mektan - akali lagi selang gas pada reaktor agar lebih efisien.	
4	13-11-2016	- pengambilan ulang sampel TPA Keputih (tambahan) sudah dilakukan - uji gravimetri-volumetri masih harus menunggu kembali selama 2 minggu - lapis kembali seluruh sambungan reaktor dengan lem kaca, pastikan udara tidak keluar	
5	05-12-2016	- pengambilan sampel TPA Benowo telah dilaksanakan - uji gravol dijanjikan selesai 1 bulan - penelitian belum dapat dilakukan karena uji kebocoran reaktor membutuhkan waktu yang cukup lama	
6	27-02-2017	- perhatikan lagi ketebalan sampah penutup, pastikan proporsi antara bahan uji dan kondisi eksisting sama - perbaiki gambar utama reaktor, lengkapi foto-foto yang kurang	
7	17-04-2017	- penelitian dihentikan pada hari ke 54. - sudah dilakukan penelitian laboratorium, dan grafik sudah dibuat. - sudah bisa diambil kesimpulan melalui penelitian yang dilakukan. - ditambahkan lagi 6 reaktor penelitian untuk mengetahui efisiensi tanah penutup menggunakan tanah yang sesuai dengan ketentuan.	
8	24-04-2017	Pembetulan laporan akhir sementara. Perbaikan data dan analisa data laporan akhir sementara. Penambahan data laboratorium dan pembahasan hasil lab.	
9	21-05-2017	Asistensi perbaikan akhir laporan tugas akhir sementara. Penambahan perhitungan gas secara keseluruhan dan kadar air. Penambahan perlengkapan gambar reaktor dan jenis mikroorganisme yang diperkirakan ada pada reaktor. Penambahan data perbandingan gas metan hasil analisis dan hasil uji Chromatograph.	

Surabaya, 15 Juni 2017
Dosen Pembimbing,


I D A A Warmadewanthi, ST, MT, Ph.D

BORANG CEK FORMAT LAPORAN TA

No	Kelengkapan TA	Cek Mahasiswa	Cek Pembimbing
1	Halaman judul	✓	✓
2	Abstrak dalam bahasa Indonesia	✓	✓
3	Abstrak dalam bahasa Inggris	✓	✓
4	Kata pengantar	✓	✓
	Format sesuai dengan pedoman penulisan TA 2016	✓	✓
5	Daftar isi	✓	✓
6	Daftar gambar	✓	✓
7	Daftar tabel	✓	✓
8	Daftar lampiran	✓	✓
9	Bab I	✓	✓
10	Bab II	✓	✓
11	Bab III	✓	✓
12	Bab IV	✓	✓
13	Bab V	✓	✓
14	Daftar pustaka	✓	✓
15	Biodata	✓	✓
16	Lampiran (jika ada)	✓	✓

Mahasiswa



Gian Chrystiadini

Menyetujui



I D A A Warmadewanthi, ST, MT, Ph.D

Mengetahui



Dr. Harmin Sulistiyoning Titah, ST, MT



**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

FORM FTA-04

FORMULIR PERBAIKAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : GIAN CHRYSIADINI
NRP : 3312100069
Judul : *THE IMPACT OF DEGRADED SOLID WASTE USAGE AS A DAILY
LANDFILL COVER SOIL ON FORMATION OF METHANE AND LEACHATE*

No	Saran Perbaikan (sesuai Form KTA-02)	Tanggapan / Perbaikan (bila perlu, sebutkan halaman)
1	Schematic → Skala → Foto Reaktor	Sudah dilakukan perbaikan terhadap gambar reaktor berupa detail skala dan gambar eksisting. (terdapat pada halaman 44-46)
2	Apakah satuan porositas	Berdasarkan literatur, tidak diketahui satuan porositas. Bila ditelaah dapat dilihat bahwa satuan porositas adalah persen, namun penulisannya dalam desimal. (pembahasan porositas dapat dilihat sebagian pada halaman 56)
3	Konsistenkan gambar grafik	Penamaan sumbu X telah disamakan dalam satuan hari. Pada sumbu Y telah disamakan nilai maksimum setiap grafik. (dapat dilihat mulai halaman 64)
4	Hasil running dibahas lebih detail sesuai dengan tinjauan pustaka yang dituliskan, dll	Pembahasan sudah ditambahkan. Seperti penambahan jenis bakteri (halaman 14-15), pembahasan stoikiometri gas (halaman 63), dan lain sebagainya
5	Teoritis dibahas pada hasil perhitungan	Pembahasan sudah ditambahkan seperti pada halaman 64, halaman 74, dan sebagainya
6	Perbandingan BTB dan air	Telah dilakukan pembahasan pada halaman 53.
7	Air hujan : untuk mass balance?	Dilakukan pembahasan pada halaman 95.

Dosen Pembimbing,

I D A Warmadewanthi, ST, MT, Ph.D

Mahasiswa Ybs, 15 Juni 2017

Gian Chrystiadini (3312100069)



-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
 Kode: Genap 2016/2017

Kode/SKS : RE141561 (0/60)
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02
 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
 Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jum'at, 5 Mei 2017
 Pukul : 15.30 - 16.30 WIB
 Lokasi : TL 102
 Judul : Pengaruh Penggunaan Sampah Terdegradasi Sebagai Tanah Penutup Harian di TPA Terhadap Pembentukan Gas Methan dan Leachate
 Nama : Gian Chrystadini
 NRP. : 3312100053
 Topik : Penelitian

Nilai TOEFL : 473

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Tugas Akhir
1.	Schematik → skala → foto reaktor.
2.	Saham persentase.
3.	Gambarkan grafik.
4.	Hasil running; pembahasan, dll.
5.	Teoritis dibahas hasil hitungan.
6.	Perbandingan BTR dan Air
7.	Air hujan : untuk mass balance.

Handwritten signature
 23/15

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

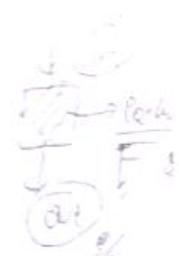
Dosen Pembimbing

I D A A Warmadewarini, S.T., M.T., Ph.D



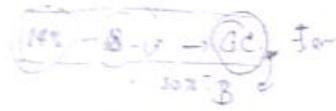
A-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
 Periode: Genap 2016/2017

Kode/SKS : RE141581 (016/0)
 No. Revisi: 01



FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
 Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jum'at, 5 Mei 2017
 Pukul : 15.30 - 16.30 WIB
 Lokasi : TL 102
 Judul : Pengaruh Penggunaan Sampah Terdegradasi Sebagai Tanah Penutup Hianan di TPA Terhadap Pembentukan Gas Methan dan Leachate
 Nama : Gian Chrystadini
 NRP : 3312100069
 Topik : Penelitian



No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Tugas Akhir
1	Bagaimana korelasi pembentukan gas ledehitas (Seoitic-aktri) dengan hasil penelitian?
2	Korelasi antara pembusukan biogas dgn. CH ₄ ?
3	Bagaimana dengan NH ₃ ? - apakah ada parameter pH untuk menyalasanya.
4	Pertanyaan ledehate secara ledehitas? → H ₂ S
5	Konsistensi skala pada grafik.

Handwritten signature and initials, possibly 'AG' and '23/5'.

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretaris Program Sarjana. Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah.
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing.

Dosen Pengarah : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D

Dosen Pembimbing : I.D.A.A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D

Handwritten signatures and initials of the supervisors.

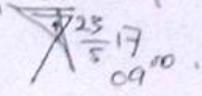


A-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
periode: Genap 2016/2017

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jum'at, 5 Mei 2017
Pukul : 15.30 - 16.30 WIB
Lokasi : TL 102
Judul : Pengaruh Penggunaan Sampah Terdegradasi Sebagai Tanah Penutup Harian di TPA Terhadap Pembentukan Gas Methan dan Leachate
Nama : Gian Chrystiadini
NRP. : 3312100069
Topik : Penelitian

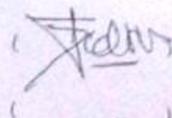
No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Tugas Akhir
1.	Masih banyak salah ketik. ✓
2.	Dalam metodologi: informasi tlg reaktor di pertajam.
3.	Informasi tlg mikroba/bakteri diperbanyak (eti Bab II).
4.	Informasi jumlah leachate beresung dari hujan. 

Karakteristik Reaktor 5 rasi!
SPT

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Ir. Eddy Setiadi Soedjono, MSc., PhD

Dosen Pembimbing : I.D.A.A Wamadewartha, S.T., M.T., Ph.D





PTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR

Kode/SKS : RE141581 (0/6/0)

Periode: Genap 2016/2017

No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jum'at, 5 Mei 2017
Pukul : 15.30 - 16.30 WIB
Lokasi : TL 102
Judul : Pengaruh Penggunaan Sampah Terdegradasi Sebagai Tanah Penutup Harian di TPA Terhadap Pembentukan Gas Methan dari Leachate
Nama : Gian Chrystiadini
NRP. : 3312100069
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Tugas Akhir
	<ul style="list-style-type: none">- Metode penelitian diupdate sesuai literatur- Reaktor kontrol diberi nomor awal ①- Judul tidak perlu ada di grafik/gambar- Fase hari 3 - 35 hari dimungkinkan belum masuk fase anaerobic dilihat dari reaktor kontrol dan sampah TPA- Skala grafik diperhatikannya- Sumber x disamarkan.- Rumus kimia dry basis- Logam berat tanah penutup tingginya? <p style="text-align: right;">23/5 2017 <i>(Signature)</i></p>

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah : Welly Herumurti, S.T., M.Sc. *(Signature)*

Dosen Pembimbing : I.D.A.A Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D *(Signature)*



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2016/2017

Kode/SKS : RE141881 (06/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 12 Juli 2017
Pukul : 13,00 - 15,00 WIB
Lokasi : TL 102
Judul : Pengaruh Penggunaan Sampah Terdegradasi Sebagai Tanah Penutup Harian di TPA Terhadap Pembentukan Gas Methan dan Leachate
Nama : Gian Chrystadini
NRP. : 3312100068
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
	<p>- Reaktor R7 & R14 missing? - Reaktor R15 & R16 - Kesimpulan diperbaiki Degradasi \rightarrow $CH_4 + CO_2$ \rightarrow cover \uparrow \rightarrow mikroorganism \rightarrow apakah benar organik } Volatile solid & COO 18/7 2017 Welly</p>

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai. Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana

Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Penguji

Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Welly Herumurti, S.T., M.Sc.

Dosen Pembimbing : I.D.A.A Wamadewanti, S.T., M.T., Ph.D

(Welly)
(I.D.A.A)



BIOGRAFI PENULIS

GIAN CHRYSTIADINI, lahir di Surabaya, 14 Mei 1994. Penulis merupakan anak keempat dari 4 (empat) bersaudara. Anak dari pasangan Bapak Drs. Setio Hadi dan Ny. Sular Budi Harini ini menempuh pendidikan formal di SDN Baratajaya, Surabaya (2000-2006), SMPN 2 Surabaya (2006-2009), dan SMA Trimurti Surabaya (2009-2012). Selepas lulus SMA pada tahun 2012, penulis memasuki jenjang S-1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya melalui jalur Seleksi Ujian Tulis SNMPTN 2012. Pada bulan Juli tahun 2015 penulis menikah dengan Dwi Indarto Hutomo, dan kegiatan perkuliahan tetap berlanjut tanpa ada halangan. Motto penulis adalah **“Jalani setiap hari dengan penuh sukacita dan ucapan syukur. Tanggalkan beban, dan bersandar pada keputusan Tuhan sehingga semua hal tidak terasa berat”**.

Selama menempuh pendidikan kuliah, penulis aktif di berbagai kegiatan seperti menjadi asisten praktikum, melakukan pekerjaan sampingan mulai dari mengajar, *part time job* di perusahaan teknik, hingga menjadi marketing suatu *branch*. Selain itu, penulis aktif di kegiatan sosial dengan bergabung dengan organisasi pecinta lingkungan Tunas Hijau, organisasi kesehatan PMI dan juga organisasi *anti-drugs* Ronny Pattinasarany Foundation (RPF) sebagai *chairman*. Penulis juga memiliki *passion* yang sangat besar terhadap musik seperti olah vocal dan juga permainan alat musik diantaranya biola, piano, dan juga gitar. Penulis dapat dihubungi di via email di gian.chrystiadini@gmail.com, facebook: Gian Chrystiadini, nomor: 0822-3329-0347, alamat: Jl. Nginden VI/55, Surabaya, Jawa Timur, 60118.

