



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PENYISIHAN HIDROKARBON PADA TANAH
TERCEMAR *CRUDE OIL* DI PERTAMBANGAN
MINYAK BUMI RAKYAT WONOCOLO,
BOJONEGORO DENGAN METODE *CO-
COMPOSTING AEROBIK***

RIZKIY AMALIYAH BARAKWAN
NRP 3312100059

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

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



TUGAS AKHIR - RE 141581

**PENYISIHAN HIDROKARBON PADA TANAH
TERCEMAR *CRUDE OIL* DI PERTAMBANGAN
MINYAK BUMI RAKYAT WONOCOLO,
BOJONEGORO DENGAN METODE *CO-
COMPOSTING AEROBIK***

RIZKIY AMALIAH BARAKWAN
NRP 3312100059

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Yulina Trihadiningrum, M.App.Sc.

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



FINAL PROJECT - RE 141581

***HYDROCARBON REMOVAL OF CRUDE OIL
CONTAMINATED SOIL AT TRADITIONAL OIL
MINING WONOCOLO BOJONEGORO WITH
CO-COMPOSTING AEROBIC METHOD***

RIZKIY AMALIYAH BARAKWAN
NRP 3312100059

Supervisor
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PENYISIHAN HIDROKARBON PADA TANAH
TERCEMAR *CRUDE OIL* DI PERTAMBANGAN MINYAK
BUMI RAKYAT WONOCOLO, BOJONEGORO DENGAN
METODE *CO-COMPOSTING* AEROBIK**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

RIZKIY AMALIYAH BARAKWAN
NRP. 3312 100 059

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.
NIP. 195307061984032004

**SURABAYA
JANUARI, 2017**

**PENYISIHAN HIDROKARBON PADA TANAH TERCEMAR
CRUDE OIL DI PERTAMBANGAN MINYAK BUMI RAKYAT
WONOCOLO, BOJONEGORO DENGAN METODE CO-
COMPOSTING AEROBIK**

Nama Mahasiswa : Rizkiy Amaliyah Barakwan
NRP : 3312100059
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum,
M.App.Sc.

ABSTRAK

Penelitian ini fokus pada penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* menggunakan metode *co-composting* dalam skala laboratorium. Sampel tanah tercemar diambil dari Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo, Bojonegoro. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kadar hidrokarbon pada sampel tanah tercemar *crude oil*, menentukan kemampuan metode *co-composting* aerobik menggunakan sampah organik *biodegradable* yang berasal dari kebun dan rumah potong hewan (RPH) dalam penyisihan hidrokarbon, dan menentukan jenis sampah organik *biodegradable* yang menghasilkan efisiensi penyisihan hidrokarbon yang optimum pada tanah tercemar *crude oil* dengan metode *co-composting* aerobik.

Penelitian ini menggunakan reaktor kaca dengan dimensi 14,9 cm (d) x 26,9 cm (t). Ada 13 perlakuan, termasuk kontrol, setiap perlakuan menggunakan 2 kali pengulangan sehingga jumlah total reaktor 26 buah. *Co-composting* dilakukan pada kondisi aerobik. Pengadukan manual untuk aerasi dilakukan setiap 3 hari sekali. Nilai dari kadar hidrokarbon, C-organik, TKN, N-nitrat, N-nitrit, dan total populasi bakteri diukur setiap 20 hari sekali. Suhu diukur setiap hari. Kadar air dan pH diukur setiap 3 hari sekali. Pengaruh jenis sampah organik dan komposisi tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik terhadap tingkat penyisihan hidrokarbon dianalisis dengan metode uji Anova *Two-way*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar hidrokarbon pada sampel tanah tercemar *crude oil* adalah sebesar 6,05%. Pada hari ke-60, penyisihan hidrokarbon paling efektif terjadi pada reaktor dengan komposisi 50% tanah tercemar *crude oil* dan 50% campuran sampah kebun dan rumen sapi (S/R50). Pada reaktor ini, hidrokarbon yang tersisihkan yaitu dari 5,37% sampai 2,77% dengan efisiensi penyisihan sebesar 33,32%. Berdasarkan hasil uji statistik Anova *Two-way* juga diketahui bahwa tidak ada pengaruh signifikan variasi jenis sampah organik, variasi komposisi tanah dan sampah, dan interaksi kedua variasi terhadap tingkat penyisihan hidrokarbon ($P > 0,05$). *Co-composting* sampai hari ke-60 pada reaktor S/R50 dapat mereduksi C-organik dari 24% menjadi 3,68% dan rasio C/N dari 34,4 menjadi 2,46. *Co-composting* sampai hari ke-60 pada reaktor S/R50 juga dapat menaikkan total populasi bakteri dari $3,026 \times 10^{10}$ CFU/g menjadi $2,184 \times 10^{15}$ CFU/g dan N-total dari 0,70% menjadi 1,50%.

Kata kunci: *Co-composting*, *Crude oil*, Hidrokarbon, Sampah kebun, Sampah RPH.

HYDROCARBON REMOVAL OF CRUDE OIL CONTAMINATED SOIL AT TRADITIONAL OIL MINING WONOCOLO BOJONEGORO WITH CO-COMPOSTING AEROBIC METHOD

Name : Rizkiy Amaliyah Barakwan
NRP : 3312100059
Department : Environmental Engineering
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum M.App.Sc.

ABSTRACT

This research was focused on the removal of hydrocarbons in crude oil contaminated soil using co-composting method in a laboratory scale. The soil samples were collected from a traditional oil mining site in Wonocolo District, Bojonegoro. The aims of the research were: (1) to determine the level of hydrocarbon pollutants in soil samples; (2) to determine whether aerobic co-composting method using solid waste from yards and slaughter house could remove hydrocarbon pollutant (3) to determine most suitable yard waste and slaughterhouse waste composition in removing hydrocarbon pollutant by aerobic co-composting method.

Glass reactors of 14.9 cm (d) x 26.9 cm (h) dimensions were used in this study. During this study 13 treatments were applied including controls, with two repetitions for each treatment. Therefore, the total number of reactors was 26. The co-composting process was carried out in aerobic condition. Manual mixing for aeration was applied every 3 days. The levels total petroleum hydrocarbons (TPH), organic C, TKN, nitrate-N, nitrite-N, and total bacterial count were measured every 20 days. Temperature was measured daily. Water content and pH was measured every 3 days. Effects of the compositions of biodegradable organic waste and crude oil contaminated soil on hydrocarbon removal was analyzed using Anova Two-way.

The results showed that average TPH concentration in the soil samples was 6.05%. On 60th day, the effective hydrocarbon removal occurred in the reactor with a composition of 50% crude oil contaminated soil and 50% mixture of garden waste and slaughterhouse waste (S/R50). In this reactor the TPH

was removed from 5.37% to 2.77% (33,32% removal efficiency). Based on the results of Anova Two way statistical tests was also known that there wasn't a significant effect of variations the type of organic waste, variations in soil and organic waste composition, and interaction of both variations to hydrocarbons removal ($P > 0.05$). Until the 60th day, the organic C was reduced from 24% to 3.68% and the C/N ratio was decreased from 34.4 to 2.46. Additionally, the total bacterial count increased from $3,026 \times 10^{10}$ CFU/g to 2.184×10^{15} CFU/g and total-N increased from 0.70% to 1.50%.

Keywords: Crude oil, Hydrocarbon, Co-composting, Garden waste, Slaughterhouse waste

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan Rahmat, Hidayah, dan Inayah-Nya, laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Penulisan Tugas Akhir yang berjudul **“Penyisihan Hidrokarbon pada Tanah Tercemar *Crude Oil* di Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo, Bojonegoro dengan Metode *Co-composting Aerobik*”** ini dalam rangka menyelesaikan Pendidikan S1 Program Sarjana Jurusan 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, perkenankan Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc. selaku Dosen Pembimbing saya yang telah sabar dan menyediakan banyak waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan arahan, bimbingan, dan saran.
2. Ibu Dr. Ir. Ellina Sitepu Pandebesie, MT. dan Bapak Dr. Ali Masduqi ST, MT. serta Bapak Arseto Yekti Bagastyo ST, MT, M.Phil., PhD. selaku Dosen Penguji yang memberikan arahan, saran, dan kritik yang membangun.
3. Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl. SE, MSc, Ph.D selaku Dosen Wali yang telah banyak membimbing dan mengarahkan selama di bangku perkuliahan.
4. Bapak IDAA Warmadewanthi ST, MT, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS, Surabaya yang telah banyak membantu kelancaran dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir.
5. Ibu Harmin Sulistyaningtitah, ST, MT, Ph.D selaku koordinator tugas akhir Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, ITS, Surabaya yang telah sabar dan banyak membimbing serta memberi masukan dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir.
6. Mbak Gina Lova Sari ST, MT. yang telah memberikan izin untuk melakukan sebagian kecil dari penelitian beliau, serta dengan sabar mengarahkan dan memberikan bimbingan dalam pembuatan laporan.

7. Mas Suhendra Amka ST. dan Dwiyanti Agustina selaku rekan satu tim penelitian atas kerjasama, segala bantuan, dan dukungannya yang luar biasa.
8. Keluarga tercinta di rumah khususnya Umik Dra. Anisah Aljufri, Aba Drs. Saleh Barakwan, dan Adik-adik Nena Barakwan dan Muhammad Barakwan yang selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dan dukungan yang luar biasa.
9. Keluarga besar di Pasuruan, Malang, dan Surabaya khususnya Baba Zahra Bin Yahya, Ammi Ir. Zaid Barakwan, Kak Lutfiyah Alhabsyi A.Md., Kak Ifa Fadelun Alhabsyi ST., dan Kak Khodijah Alhabsyi A.Md., atas segala doa, semangat, dukungan, dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
10. Sahabat-sahabat Penulis terutama Bella, Ratna, Uum, Rere, Nisa, Dewi, Shodiq, Atok, Manul, Indira, Uwik, Rina, Mbak Muhi, Grace, Fani, Diah, Devi, dan Eka yang selalu memberikan semangat dan motivasi.
11. Teman-teman Angkatan 2012, adik-adik angkatan 2013, dan Forum Al-Qurba Surabaya yang selalu memberikan doa, semangat, dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir.
12. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir.

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

Surabaya, 19 Januari 2017

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Senyawa Hidrokarbon	7
2.1.1 Jenis dan Karakteristik Senyawa Hidrokarbon.....	7
2.1.2 Sumber Pencemaran Hidrokarbon.....	9
2.1.3 Potensi Pencemaran Hidrokarbon dalam Tanah	9
2.1.4 Teknologi Penyisihan Hidrokarbon pada Tanah Tercemar <i>Crude Oil</i>	11
2.2 Teknologi Komposting dengan Metode <i>Co-composting</i>	12
2.2.1 Macam Metode <i>Co-composting</i> dalam Teknologi Komposting	13
2.2.2 Mekanisme Penguraian Hidrokarbon dengan <i>Co-</i> <i>composting</i>	15
2.2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi <i>Co-composting</i>	19
2.3 Penelitian Terdahulu.....	22

2.4 Gambaran Umum Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo, Bojonegoro.....	24
BAB 3 METODE PENELITIAN	27
3.1 Gambaran Umum Penelitian	27
3.2. Kerangka Penelitian.....	27
3.3 Tahapan Penelitian.....	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Karakteristik Tanah Tercemar <i>Crude Oil</i>	55
4.2 Karakteristik Sampah Organik <i>Biodegradable</i>	58
4.3 Proses Komposting.....	61
4.4 Hasil Analisis Kondisi selama <i>Co-composting</i>	65
4.4.1 Perubahan Suhu.....	65
4.4.2 Perubahan Kadar Air	70
4.4.3 Perubahan pH.....	73
4.4.4 Kontrol Kondisi Aerobik	75
4.4.5 Perubahan N-Nitrat (NO_3^-).....	77
4.4.6 Perubahan N-Nitrit (NO_2^-).....	79
4.4.7 Perubahan Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)	81
4.4.8 Perubahan N-Total	84
4.4.9 Perubahan C-Organik.....	87
4.4.10 Perubahan Rasio C/N.....	89
4.4.11 Perubahan Total Populasi Bakteri.....	93
4.5 Kadar Hidrokarbon selama <i>Co-composting</i>	96
4.6 Pengaruh <i>Co-composting</i> terhadap Penyisihan Hidrokarbon	101
4.7 Uji Statistik ANOVA <i>Two Way</i> (Pengaruh Variasi Komposisi dan Jenis Sampah Organik terhadap Penyisihan Hidrokarbon)	107
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	111

5.1 Kesimpulan	111
5.2 Saran	111
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN A	121
LAMPIRAN B	123
LAMPIRAN C	139
LAMPIRAN D	151
BIOGRAFI PENULIS	169

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Pengomposan Aerobik dan Pengomposan Anaerobik.....	15
Tabel 3.1 Karakteristik Sampah Kebun	37
Tabel 3. 2 Karakteristik Sampah RPH (Rumen Sapi Lokal).....	38
Tabel 3.3 Variasi pada Reaktor Penelitian	44
Tabel 3.4 Jumlah Total Reaktor Penelitian	45
Tabel 3.5 Metode Analisis Parameter	46
Tabel 4.1 Kandungan Hidrokarbon pada Sampel Tanah.....	56
Tabel 4.2 Karakteristik Awal Komposit Sampel Tanah Tercemar <i>Crude Oil</i>	57
Tabel 4.3 Karakteristik Awal Sampah Organik <i>Biodegradable</i> ...	59
Tabel 4.4 Karakteristik Awal tiap Reaktor Sebelum Co-composting	64

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain Teknologi <i>Co-composting</i> untuk Pengolahan <i>Sludge</i>	13
Gambar 2.2 <i>Windrow System Composting</i>	14
Gambar 2.3 Proses Degradasi Hidrokarbon Alifatik hingga β - oksidasi	17
Gambar 2.4 Siklus Krebs.....	17
Gambar 2.5 Sistem Transport Elektron.....	18
Gambar 2.6 Kawasan Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo	26
Gambar 3.1 Kerangka Metode Penelitian.....	29
Gambar 3.2 Sampling Pola Diagonal	33
Gambar 3.3 <i>Sampling Along A Linear Source</i>	33
Gambar 3.4 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Tercemar <i>Crude Oil</i>	35
Gambar 3.5 Desain Reaktor Penelitian.....	42
Gambar 4.1 Perubahan Kondisi Suhu selama <i>Co-composting</i>	67
Gambar 4.2 Perubahan Kondisi Kadar Air selama <i>Co-composting</i>	72
Gambar 4.3 Perubahan Kondisi pH selama <i>Co-composting</i>	74
Gambar 4.4 Kondisi Volume Udara dalam Reaktor selama <i>Co- composting</i> (L/menit)	76
Gambar 4.5 Perubahan Kondisi N-Nitrat selama <i>Co-composting</i>	78
Gambar 4.6 Kondisi N-Nitrit selama <i>Co-composting</i>	81
Gambar 4.7 Perubahan Kondisi TKN selama <i>Co-composting</i>	82
Gambar 4.8 Kondisi Kadar N-Total selama <i>Co-composting</i>	85
Gambar 4.9 Perubahan Kadar C-Organik selama <i>Co-composting</i>	88
Gambar 4.10 Perubahan Nilai Rasio C/N selama <i>Co-composting</i>	90

Gambar 4.11 Perubahan Total Populasi Bakteri selama <i>Co-composting</i>	94
Gambar 4.12 Kadar Hidrokarbon pada Reaktor Berbahan Tanah dan Sampah Kebun selama <i>Co-composting</i>	96
Gambar 4.13 Kadar Hidrokarbon pada Reaktor Berbahan Tanah dan Rumen Sapi selama <i>Co-composting</i>	97
Gambar 4.14 Kadar Hidrokarbon pada Reaktor Berbahan Tanah dan Campuran Sampah Kebun dan Rumen Sapi selama <i>Co-composting</i>	97
Gambar 4.15 Persen Penyisihan Hidrokarbon dari Hari ke-20 sampai Hari ke-60 <i>Co-composting</i>	101
Gambar 4.16 Penurunan Kadar Hidrokarbon terhadap Fungsi Waktu dari Hari ke-20 sampai Hari ke-60 <i>Co-composting</i>	104
Gambar 4.17 Hubungan Penurunan C-Organik terhadap Penyisihan Kadar Hidrokarbon selama <i>Co-composting</i>	105
Gambar 4.18 Hubungan Penyisihan Hidrokarbon dan Total Populasi Bakteri dari Hari ke-0 sampai Hari ke-60 <i>Co-composting</i>	106
Gambar 4.19 Hubungan C-Organik dan Total Populasi Bakteri dari Hari ke-0 sampai Hari ke-60 <i>Co-composting</i>	107

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A.....	121
LAMPIRAN B.....	123
LAMPIRAN C.....	139
LAMPIRAN D.....	151

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bojonegoro merupakan salah satu nama kabupaten di Propinsi Jawa Timur yang terletak di paling ujung barat wilayah propinsi tersebut. Bojonegoro kaya akan minyak dan merupakan penyuplai 20% dari produksi minyak nasional (Naumi dan Trilaksana, 2015). Tambang minyak bumi rakyat di Kabupaten Bojonegoro yang terdapat di wilayah Kecamatan Kedewan adalah sejumlah 74 unit sumur. Sejumlah 44 sumur dengan kapasitas produksi 25.771 L/hari terletak di Desa Wonocolo, 18 sumur dengan kapasitas produksi 12.771 L/hari di Desa Hargomulyo, dan 12 sumur dengan kapasitas produksi 8.249 L/hari di Desa Beji (Handrianto *et al.*, 2012). Desa Wonocolo adalah desa dengan jumlah sumur dan produksi minyak terbanyak di kawasan tambang minyak bumi rakyat di Kecamatan Kedewan. Kondisi ini berpotensi mengakibatkan terjadinya pencemaran tanah oleh *crude oil* akibat kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi yang meliputi pengeboran, penyulingan, dan pengangkutan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya tumpahan atau ceceran dari berbagai kegiatan tersebut secara terus-menerus yang masih dilakukan dengan cara yang sangat sederhana, tradisional, dan tanpa pengamanan yang baik. Menurut Handrianto *et al.* (2012), pada tanah tercemar *crude oil* di daerah pertambangan minyak di Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur mengandung *total petroleum hydrocarbon* (TPH) sebesar 4,12%. Kadar TPH tersebut melebihi baku mutu yang berlaku berdasarkan Lampiran 2 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003 yaitu 1% (Kepmen LH, 2003). Tanah terkontaminasi TPH juga terjadi di pertambangan minyak rakyat di Cepu, Jawa Tengah dan masih banyak kasus pencemaran lainnya (Handrianto *et al.*, 2012).

Hidrokarbon merupakan salah satu kontaminan paling umum yang membutuhkan remediasi karena sangat berkaitan dengan kesehatan manusia dan indikasi adanya pencemaran air (Kirk *et al.*, 2004). Kontaminan hidrokarbon pada tanah yang sulit diuraikan dan bersifat toksik akan mengganggu pertumbuhan

tanaman dan organisme lain yang tumbuh di dalamnya. *Crude oil* mempunyai komponen hidrokarbon yang merupakan senyawa organik (Handrianto *et al.*, 2012). Tanah tercemar *crude oil* yang mengandung komponen hidrokarbon merupakan masalah yang besar karena sulit didegradasi oleh mikroorganisme (Chijioke-Osuji *et al.*, 2014). Hal ini disebabkan sifatnya yang toksik dan hidrofobik yang sulit larut dalam air (Pacwa-Plociniczak *et al.*, 2011). Berdasarkan kandungannya, Kepmen LH No. 128 Tahun 2003 menyatakan bahwa tanah yang terkontaminasi *crude oil* termasuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Hal ini menyebabkan tanah tercemar *crude oil* menjadi masalah lingkungan yang hingga saat ini selalu mendapat perhatian yang serius.

Pada saat ini proses pemulihan kondisi tanah tercemar *crude oil* yang mengandung hidrokarbon yang paling diminati yaitu dengan cara biologis atau teknik bioremediasi (Wang *et al.*, 2011). Bioremediasi banyak diterapkan karena tidak mahal dan ramah lingkungan dibandingkan dengan cara fisika dan kimia (Zhang *et al.*, 2012). Salah satu teknik bioremediasi untuk penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* adalah metode *co-composting* (Wang *et al.*, 2011). *Co-composting* dilakukan dengan mencampurkan tanah terkontaminasi dengan bahan organik *biodegradable* untuk menambahkan nutrisi dan mendorong populasi dan aktivitas mikroorganisme yang mampu menyisihkan polutan hidrokarbon (Mizwar dan Trihadiningrum, 2016). Beberapa keunggulan metode *co-composting* adalah biaya modal dan operasionalnya rendah, operasi dan desainnya sederhana, dan efisiensi pengolahannya tinggi (Namkoong *et al.*, 2002). Metode *co-composting* juga mempunyai keunggulan dalam memperbaiki dan meningkatkan sifat-sifat tanah serta penggunaan kembali sampah organik *biodegradable* sehingga dapat mengurangi volume timbulan sampah (Sayara *et al.*, 2010).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk membuktikan bahwa *co-composting* tanah tercemar *crude oil* dengan bahan organik mampu menyisihkan kadar hidrokarbon. Hasil *co-composting* tanah terkontaminasi hidrokarbon dengan pupuk dari kotoran sapi yang dicampur dengan sampah sayur menunjukkan penyisihan hidrokarbon sebesar 90% (Atagana *et al.*, 2003). Penurunan hidrokarbon dalam tanah terkontaminasi sebesar

67,8% pada *co-composting* campuran antara tanah terkontaminasi dengan sampah kebun dengan rasio 1:1 (Atagana, 2008). Van Gestel *et al.* (2003) mengemukakan penyisihan tanah terkontaminasi hidrokarbon dengan menggunakan campuran sampah sayur, buah, dan kebun selama 12 minggu adalah sebesar 84%. Komposisi campuran sampah sayur, buah, dan taman dengan tanah terkontaminasi adalah 90%:10% (Van Gestel *et al.*, 2003). Hapsari dan Trihadiningrum (2014) mengemukakan bahwa *co-composting* limbah lumpur berminyak dan sampah basah rumah tangga serta kotoran ternak dengan komposisi 55%:45% mampu mereduksi polutan minyak sampai 72% selama 60 hari. Berdasarkan hasil penelitian-penelitian tersebut, pada penelitian ini digunakan sampah kebun sebagai salah satu bahan campuran dalam proses *co-composting* karena sampah kebun memiliki kadar C yang tinggi dan baik untuk pengomposan (Van Gestel *et al.*, 2003). Penggunaan sampah RPH berupa rumen sapi lokal karena sampah rumen sapi dengan kadar N dan P yang tinggi dapat diolah dengan pengomposan dan masih sedikitnya penelitian yang telah dilakukan (Ratnawati dan Trihadiningrum, 2016). Kombinasi sampah kebun dan sampah RPH berupa rumen sapi lokal juga digunakan sebagai bahan campuran dalam *co-composting* pada penelitian ini untuk penyeimbangan rasio C/N dan penyeimbangan jumlah mikroba (Van Gestel *et al.*, 2003).

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar hidrokarbon pada sampel tanah tercemar *crude oil* yang berasal dari pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo Bojonegoro, menentukan kemampuan metode *co-composting* aerobik menggunakan sampah organik *biodegradable* yang berasal dari kebun dan rumah potong hewan (RPH) dalam penyisihan hidrokarbon, dan menentukan jenis sampah organik *biodegradable* yang menghasilkan efisiensi penyisihan hidrokarbon yang optimum pada tanah tercemar *crude oil* dengan metode *co-composting* aerobik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah :

1. Berapakah kadar hidrokarbon pada sampel tanah tercemar *crude oil* yang berasal dari pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo, Bojonegoro?
2. Apakah hidrokarbon dapat disisihkan dengan metode *co-composting* aerobik menggunakan sampah organik *biodegradable* yang berasal dari kebun dan rumah potong hewan (RPH)?
3. Pada jenis sampah organik manakah efisiensi penyisihan hidrokarbon dengan metode *co-composting* aerobik pada tanah tercemar *crude oil* berjalan optimum?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menentukan kadar hidrokarbon pada sampel tanah tercemar *crude oil* yang berasal dari pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo, Bojonegoro.
2. Menentukan kemampuan metode *co-composting* aerobik menggunakan sampah organik *biodegradable* yang berasal dari kebun dan rumah potong hewan (RPH) dalam penyisihan hidrokarbon.
3. Menentukan jenis sampah organik *biodegradable* yang menghasilkan efisiensi penyisihan hidrokarbon yang optimum pada tanah tercemar *crude oil* dengan metode *co-composting* aerobik.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup yang membatasi penelitian ini adalah :

1. Sampel tanah tercemar *crude oil* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari area pertambangan minyak bumi rakyat di Desa Wonocolo, Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur.
2. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium dan dilaksanakan di Workshop Penelitian dan Laboratorium Limbah Padat dan B3, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
3. Pengambilan sampel tanah tercemar *crude oil* dilakukan pada Sabtu, 16 Juli 2016 pada pukul 13.30 wib dan

proses pengomposan di laboratorium dilakukan selama 60 hari.

4. Polutan tanah tercemar *crude oil* yang dianalisis pada penelitian ini adalah kadar hidrokarbon sebelum dan setiap 20 hari sekali pada proses penyisihan hidrokarbon dengan metode *co-composting* aerobik.
5. Jenis sampah yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah kebun, sampah RPH berupa rumen sapi lokal, dan campuran sampah kebun dan RPH.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan alternatif teknologi tepat guna untuk remediasi lahan tanah terkontaminasi hidrokarbon di lahan pertambangan minyak bumi.
2. Memberikan rekomendasi tentang aplikasi remediasi tanah terkontaminasi hidrokarbon di lahan pertambangan minyak bumi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Senyawa Hidrokarbon

Hidrokarbon merupakan salah satu kontaminan paling umum yang membutuhkan remediasi karena sangat berkaitan dengan kesehatan manusia dan indikasi adanya pencemaran air (Kirk *et al.*, 2004). Senyawa hidrokarbon berasal dari sumber minyak bumi, termasuk bahan bakar umum seperti bensin, solar, minyak tanah, minyak pelumas, dan lemak. Meskipun hidrokarbon adalah zat organik yang hanya terdiri dari karbon dan hidrogen, namun hidrokarbon termasuk senyawa dengan jenis-jenis yang berbeda berdasarkan perbedaan jumlah rantai karbon penyusunnya sehingga mempunyai sifat kimia dan fisika yang berbeda-beda pula (Baldan *et al.*, 2015).

2.1.1 Jenis dan Karakteristik Senyawa Hidrokarbon

Kandungan senyawa hidrokarbon dalam *crude oil* dapat diklasifikasikan sebagai hidrokarbon alifatik, sikloalkana, hidrokarbon aromatik, dan hidrokarbon poli-aromatik (Ali, 2012):

➤ **Senyawa Alifatik**

Cincin atom karbon dari hidrokarbon alifatik tersusun secara linier, bercabang, atau melingkar tertutup (alissiklik). Alifatik juga terbagi menjadi beberapa golongan, yaitu:

- a. Alkana (parafin) yang memiliki ikatan atom C jenuh
Alkana adalah hidrokarbon alifatik jenuh berikatan tunggal dan stabil terhadap reaksi kimia dengan rumus empiris C_nH_{2n+2} . Alkana merupakan petroleum hidrokarbon yang sangat mudah terdegradasi. Namun alkana pada range C5 hingga C10 merupakan penghambat dalam proses degradasi hidrokarbon. Pada konsentrasi tinggi, senyawa ini bersifat toksik yaitu mampu merobek membran lipid pada sel mikroorganisme.
- b. Alkena (olefin) adalah hidrokarbon alifatik tak jenuh yang memiliki minimal satu ikatan rangkap 2 dengan rumus empiris C_nH_{2n} .

- c. Alkana adalah hidrokarbon alifatik tak jenuh yang memiliki minimal satu ikatan rangkap 3 dengan rumus empiris C_nH_{2n-2} .
- Senyawa Sikloalkana
Sikloalkana adalah hidrokarbon alisiklik (cincin siklis) tunggal dan banyak dengan rumus empiris C_nH_{2n} . Senyawa ini sangat stabil namun lebih reaktif daripada alkana. Sebagaimana pada senyawa alkana, semakin besar jumlah atom C semakin tinggi pula Sg (*specific gravity*) dan titik didihnya. Degradasi sikloalkana biasanya juga dioksidasi pada gugus terminal metil dan menjadi alkohol.
 - Senyawa Aromatik
Hidrokarbon aromatik terbentuk dari 1 molekul benzena dimana 6 buah atom tersusun menyerupai cincin dengan ikatan tunggal dan ganda (Eweis *et al.*, 1998). Volatilitas yang tinggi dan kelarutan yang rendah umumnya dimiliki oleh hidrokarbon aromatik ini. Kandungan hidrokarbon aromatik turut menentukan tingkat toksisitas minyak bumi. Menurut Cookson (1995), cincin benzene hidrokarbon banyak terkandung dalam hidrokarbon aromatik. Contohnya adalah benzena, toluena, etilbenzena, dan xilena yang sering disebut sebagai senyawa BTEX.
Senyawa hidrokarbon aromatik sulit didegradasi dan dapat menghasilkan senyawa *intermediate* yang tidak diinginkan. Metode dasar penyerangan mikroba pada komponen aromatik bercincin tunggal membentuk senyawa dihidrodiol. Dihidrodiol dioksidasi membentuk alkil katekol yang merupakan senyawa *intermediate*. Hasil oksidasi pemecahan cincin adalah terbentuknya aldehid serta asam yang siap digunakan mikroorganisme untuk sintesa sel dan energi.
 - Senyawa Poli Aromatik
Senyawa poli aromatik disebut juga dengan *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) yang terdiri dari beberapa senyawa aromatik yang menyatu, misalnya naftalena, asenaftena, dan fluorena. PAH bersifat karsinogenik,

semakin banyak jumlah molekul aromatik yang menyatu maka senyawa PAH ini semakin sulit terurai.

2.1.2 Sumber Pencemaran Hidrokarbon

Pencemaran hidrokarbon dalam tanah dapat disebabkan oleh terlepasnya berbagai bahan kimia yang diproduksi atau digunakan dalam aktivitas manusia ke permukaan atau ke dalam tanah. *Crude oil (petroleum)* adalah salah satu contoh produk yang sangat luas penggunaannya terutama di bidang industri. Pencemaran hidrokarbon dalam tanah oleh minyak dan gas bumi dapat disebabkan oleh kegiatan yang bersumber dari (Kepmen LH No. 128, 2003) :

- a. Tangki pemisah dan atau penimbun minyak mentah dan/atau produk bahan minyak, baik di darat maupun di laut (*tanker, floating storage, storage tank*, dan lain-lain)
- b. Instalasi pengolah air limbah (*separator, oil catcher, dissolved air floatation (DAF), chemical unit* dan/atau, *free water knock out/separator* minyak dari sumur produksi) yang mengolah air limbah pada kegiatan usaha minyak dan gas bumi dan/atau kegiatan lain yang berhubungan dengan pengelolaan limbah minyak bumi
- c. Hasil pembersihan alat-alat proses pada kegiatan usaha minyak dan gas bumi dan/atau kegiatan lain yang berhubungan dengan pengelolaan limbah minyak bumi
- d. Timbunan kumulatif limbah minyak dari hasil kegiatan usaha minyak dan gas bumi dan/atau kegiatan lain yang telah beroperasi sebelum adanya peraturan pengelolaan limbah
- e. Limbah pemboran berupa limbah lumpur bor dan serbuk bor (*cutting*) yang mengandung residu minyak bumi
- f. Tumpahan minyak pada lahan akibat dari proses pengangkutan minyak melalui pipa, alat angkut, proses pemindahan (*transfer*) minyak atau dari ceceran minyak pada tanah terkontaminasi

2.1.3 Potensi Pencemaran Hidrokarbon dalam Tanah

Pencemaran tanah adalah keadaan dimana bahan kimia alami dan/atau buatan manusia masuk dan mengubah tatanan

tanah alami (Halifah, 2012). Berdasarkan PP No. 150 tahun 2000, disebutkan bahwa kerusakan tanah untuk produksi biomassa adalah berubahnya sifat dasar tanah yang melampaui kriteria baku kerusakan tanah. Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak bumi yang meliputi pengeboran, produksi, pengilangan, dan transportasi berpotensi menyebabkan terjadinya pencemaran tanah. Hal ini disebabkan oleh adanya tumpahan atau cecceran dari berbagai kegiatan tersebut. Minyak bumi mempunyai komponen hidrokarbon yang merupakan senyawa organik (Handrianto *et al.*, 2012). Kontaminan hidrokarbon pada tanah yang sulit diuraikan dan bersifat toksik akan mengganggu pertumbuhan tanaman dan organisme lain yang tumbuh di dalamnya.

Van Gestel *et al.* (2003) mengatakan pencemaran tanah oleh hidrokarbon dapat disebabkan oleh tumpahan solar pada tanah saat proses produksi atau transportasi. Moretto *et al.* (2005) mengatakan tanah terkontaminasi PAH terjadi di kawasan industri Porto Marghera, Venezia, Italia. Wang *et al.* (2011) mengatakan bahwa terjadi pencemaran tanah di Delta Yellow River di Cina karena daerah tersebut adalah kawasan produksi petroleum. Selama bertahun-tahun terjadi kontaminasi hidrokarbon akibat petroleum pada tanah di tempat ini karena produksi, tumpahan, kebocoran pipa minyak, dan transportasi. Baldan *et al.* (2015) mengatakan tanah terkontaminasi hidrokarbon akibat tumpahan bahan bakar diesel secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama yaitu 20-25 tahun terjadi di Italia Timur bagian Utara.

Pencemaran tanah oleh hidrokarbon juga terjadi di beberapa daerah di Indonesia. Pencemaran tanah oleh hidrokarbon terjadi di sekitar tambang minyak Minas PT CPI, Riau akibat tumpahan *crude oil* saat proses pengeboran, produksi, dan transportasi (Karwati, 2009). Ali (2012) juga menyebutkan kasus pencemaran tanah akibat hidrokarbon misalnya di PT. UNILEVER Jakarta seluas 2.2 Ha, di PT. CALTEX seluas 8 Ha, kebocoran pipa minyak mentah di PT. CONNOCO PHILLIPS sepanjang 300 meter dan masih banyak kasus pencemaran lainnya. Juliani dan Rahman (2011) mengatakan pencemaran tanah oleh limbah lumpur minyak

akibat kegiatan penambangan minyak bumi oleh PT Pertamina Cilacap.

2.1.4 Teknologi Penyisihan Hidrokarbon pada Tanah Tercemar Crude Oil

Menurut Kasmidjo (1990), suatu negara maju yang telah memiliki standar kualitas lingkungan khususnya tanah, pemulihan tanah yang terkontaminasi dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

- Penyimpanan tanah terkontaminasi dengan cara digali dan dibawa ke gudang penyimpanan untuk selanjutnya disimpan sementara sampai ditemukan teknik pengolahan yang tepat
- Teknik *ex-situ* merupakan pengolahan tanah terkontaminasi yang dilakukan di luar lokasi terjadinya pencemaran
- Teknik *in-situ* pengolahan tanah terkontaminasi di tempat terjadinya pencemaran

Perbedaan teknik *ex-situ* dan *in-situ* adalah tingkat kejenuhan tanah dan aerasi pada area pengolahan. Teknik *in-situ* didefinisikan sebagai pengolahan tanah terkontaminasi dengan dan air tanah yang mengalami pengadukan sedangkan teknik *ex-situ* merupakan pengolahan tanah yang telah diisolasi dan diangkat lalu ditambahkan air untuk pengkondisian. Hal ini tentu sangat berpengaruh biostimulan remediasi, dimana kemampuan degradasi mikroorganisme terhadap senyawa organik dan anorganik dapat ditingkatkan.

Jenis-jenis teknik pengolahan tanah terkontaminasi menurut Wang *et al.* (2011) adalah sebagai berikut :

- Komposting
Suatu proses aerob biologis dimana padatan organik yang dioksidasi secara biologis menjadi senyawa stabil seperti humus. Konsentrasi organik tinggi dan tingkat kelembapan dari kompos dapat menghasilkan panas yang mengawali proses biodegradasi. Suhu dalam pengoperasian komposting jarang berada dibawah suhu 55°C. Suhu yang tinggi digunakan untuk membunuh organisme patogen, selain itu juga digunakan untuk memperbaiki kondisi lingkungan untuk mendegradasi komponen yang berbahaya (Eweis *et al.*, 1998).

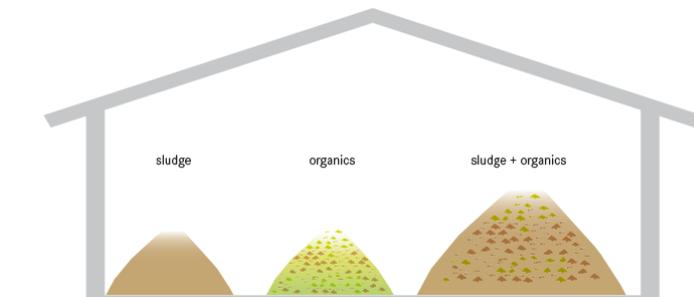
- *Landfarming*
Landfarming yang disebut juga sebagai *land treatment* atau *land application*, merupakan teknik pemulihan yang dilaksanakan di permukaan tanah baik secara *in-situ* maupun *ex-situ*. Teknik ini merupakan metode pemulihan yang paling awal dan sederhana serta sangat umum diterapkan dalam meremediasi tanah tercemar minyak. Peralatan yang dibutuhkan sama dengan peralatan dalam pembajakan lahan pertanian.
- *Bioaugmentasi*
 Suatu teknik pemulihan tanah tercemar dengan menambahkan mikroorganisme tertentu pada daerah yang akan diremediasi. Dalam beberapa hal, teknik *bioaugmentasi* juga diikuti dengan penambahan nutrisi tertentu.
- *Biostimulasi*
 Suatu teknik menambahkan nutrisi tertentu dengan tujuan merangsang aktivitas mikroorganisme-mikroorganisme setempat (*indigenous*).

2.2 Teknologi Komposting dengan Metode Co-composting

Komposting adalah proses dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme terhadap sampah organik yang bersifat *biodegradable*. Pada awalnya, penggunaan teknologi komposting sebagai teknik pemulihan tanah tercemar tidak terlalu mendapat banyak perhatian. Meskipun teknologi ini aplikatif dalam memperbaiki tanah terkontaminasi senyawa organik selama beberapa tahun (Atagana, 2008). Penelitian remediasi tanah terkontaminasi dengan metode komposting banyak dilakukan pada tanah dengan konsentrasi kontaminan yang kecil. Namun berdasarkan penelitian Marin *et al.* (2006), kompos sangat berpotensi untuk meremediasi tanah terkontaminasi dengan konsentrasi besar.

Co-composting adalah metode untuk komposting sampah organik yang diinkubasi bersama dengan tanah terkontaminasi (Van Gestel *et al.*, 2003). *Co-composting* juga dapat diartikan sebagai penggunaan jenis limbah lain bersamaan dengan limbah yang biasanya digunakan pada proses pengomposan untuk

meningkatkan proses sekaligus mengurangi pembuangan limbah lain (Hapsari dan Trihadiningrum, 2014). Penambahan bahan organik pada tanah terkontaminasi hidrokarbon bermanfaat sebagai sumber *co-substrat*, nutrisi, mikroorganisme, memperbaiki struktur tanah, dan kemampuan tanah dalam menahan air (Van Gestel *et al.*, 2003). *Co-composting* sebagai metode bioremediasi telah dipertimbangkan sebagai metode yang pantas dalam bioremediasi tanah terkontaminasi dan juga dapat mengurangi kontaminan juga meningkatkan struktur dan kandungan tanah (Semple *et al.*, 2001). Pemilihan metode *co-composting* juga memberikan kontribusi berkelanjutan dalam reuse sampah organik yang *biodegradable* yang kaya akan nutrisi dan mikroorganisme (Sayara *et al.*, 2011). Contoh desain metode *co-composting* untuk pengolahan *sludge* dapat dilihat pada Gambar 2.1.

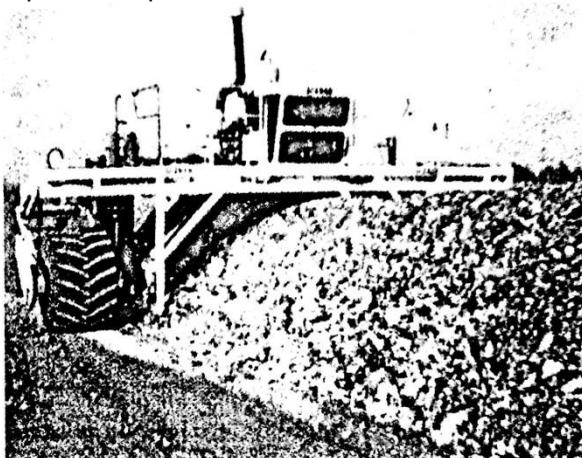


Gambar 2.1 Desain Teknologi *Co-composting* untuk Pengolahan *Sludge*
(Tilley, 2014)

2.2.1 Macam Metode *Co-composting* dalam Teknologi Komposting

Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), ada tiga metode komposting yang umum dilakukan, yaitu *windrow system*, *aerated static pile system*, dan *in vessel system*. *Windrow system* banyak digunakan dalam pengaplikasian remediasi tanah tercemar *crude oil* dengan metode *co-composting* (Agarry *et al.*, 2010). *Windrow system* merupakan metode pembuatan kompos paling sederhana dan paling murah. Bahan baku kompos berupa material organik ditumpuk memanjang dengan ketinggian 0,6-1 meter dan lebar 2-

5 meter serta panjangnya 40-50 meter. Metode ini memanfaatkan sirkulasi udara secara alami sehingga sangat dipengaruhi dimensi tumpukan bahan baku kompos, kelembapan, dan ruang pori. Kelemahan dari metode ini adalah memerlukan area lahan yang cukup luas. Contoh metode komposting dengan *windrow system* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Windrow System Composting*
(Tchobanoglous *et al.*, 1993)

Menurut Tchobanoglous *et al.* (1993), pengomposan dapat dibedakan berdasarkan prosesnya yaitu proses pengomposan aerobik dan pengomposan anaerobik.

a. Metode Pengomposan Aerobik

Komposting aerobik adalah metode pengomposan yang umum digunakan pada proses biologis untuk mengkonversi sampah organik menjadi bahan yang stabil seperti humus. Beberapa aplikasi pada teknik pengomposan secara aerobik adalah sampah taman, pemisahan sampah domestik, dan *co-composting* dengan lumpur air limbah (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Reaksi yang terjadi pada pengomposan aerobik menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) yaitu:

Materi organik + O₂ + nutrisi + mikroorganisme →
Kompos + sel baru + CO₂ + H₂O + NO₃ + SO₄²⁻ + panas

b. Metode Pengomposan Anaerobik

Komposting anaerobik mempunyai proses yang lebih kompleks daripada komposting aerobik. Pada pengomposan anaerobik menghasilkan manfaat yang lebih banyak yaitu dihasilkannya energi terbarukan berupa pembentukan gas metana (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Reaksi yang terjadi pada pengomposan anaerobik menurut Tchobanoglous *et al.* (1993) yaitu:

Materi organik + H₂O + nutrisi \longrightarrow Kompos + sel baru + CO₂ + CH₄ + NH₃ + H₂S + panas

Perbedaan antara pengomposan aerobik dan pengomposan anaerobik dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan Pengomposan Aerobik dan Pengomposan Anaerobik

Karakteristik	Pengomposan aerobik	Pengomposan anaerobik
Penggunaan energi	membutuhkan energi	menghasilkan energi
Produk akhir	humus, CO ₂ , H ₂ O	sludge, CO ₂ , CH ₄
Reduksi volume	50%	50%
Lama proses	20 - 30 hari	20 - 40 hari
Tujuan utama	reduksi volume	produksi energi
Tujuan lain	produksi kompos	reduksi volume, stabilisasi sampah

Sumber: Tchobanoglous *et al.* (1993)

2.2.2 Mekanisme Penguraian Hidrokarbon dengan *Co-composting*

Bioenergetik atau katabolisme adalah bagian dari proses metabolisme yang dapat menghasilkan energi kimia. Dalam proses tersebut terjadi penguraian molekul-molekul organik menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana. Hidrokarbon merupakan senyawa organik nonpolar yang keberadaannya seringkali dianggap sebagai pencemar lingkungan (Trihadiningrum, 2012).

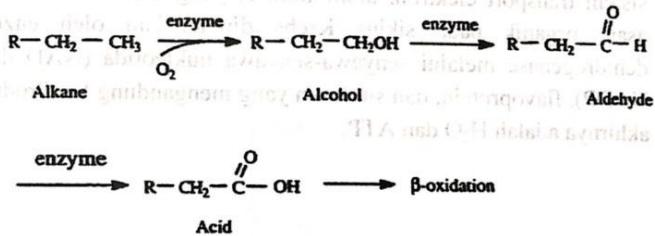
Pada proses penguraian hidrokarbon, pertama-tama hidrokarbon dioksidasi oleh bakteri aerob. Mikroorganisme yang dapat menguraikan jenis senyawa ini tidak terlalu banyak,

diantaranya adalah *Pseudomonas fluorescens*, *P. oleovorans*, *Acinobacter calcoaceticus*, *Candida lipolytica*, *Arthrobacter paraffineus*, dan *Corybacterium glutamicum*. Gugus alkil terminal dioksidasi membentuk alkohol primer. Reaksi umumnya adalah sebagai berikut:

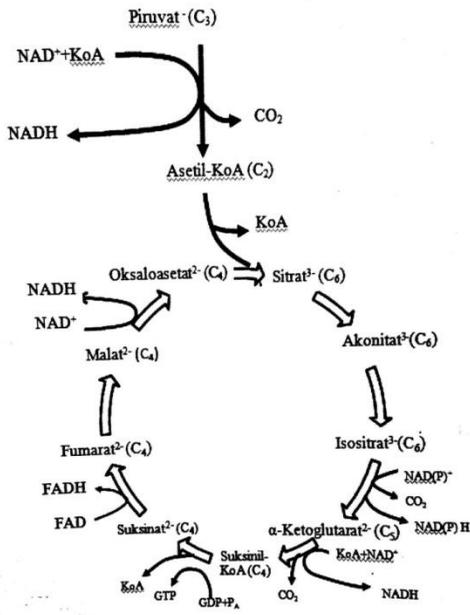


Alkohol primer yang terbentuk akan dioksidasi lebih lanjut menjadi aldehida. Senyawa ini kemudian dioksidasi menjadi asam-asam lemak oleh dehidrogenase yang memerlukan NAD. Selanjutnya asam lemak mengalami proses β -oksidasi untuk kemudian memasuki siklus Krebs (Trihadiningrum, 2012). Siklus Krebs menghasilkan CO_2 , KoA, NADH_2 , FADH_2 , dan ATP. Siklus Krebs dapat dilihat pada Gambar 2.6. Selanjutnya pada sistem transport elektron, atom-atom H yang keluar dari asam-asam organik pada siklus Krebs dipindahkan oleh enzim dehidrogenase melalui senyawa-senyawa nukleotida (NAD dan NADP), flavoprotein dan sitokrom yang mengandung Fe. Produk akhirnya adalah air dan ATP (Trihadiningrum, 2012). Sistem transport elektron dapat dilihat pada Gambar 2.7.

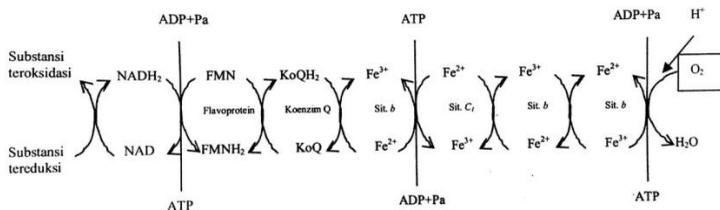
Ali (2012) mengemukakan bahwa degradasi hidrokarbon alifatik sebagian besar berlangsung secara aerobik. Proses tersebut diawali dengan masuknya oksigen pada hidrokarbon yang dibantu enzim oksigenase. Enzim oksigenase menyerang terminal gugus metil untuk mengubahnya menjadi alkohol. Alkohol dioksidasi menjadi aldehid dan selanjutnya menjadi asam karboksilat. Asam karboksilat didegradasi lebih jauh lagi melalui oksidase beta dan kemudian memasuki siklus Krebs. Proses degradasi hidrokarbon alifatik dapat digambarkan melalui reaksi pada Gambar 2.5.



Gambar 2.3 Proses Degradasi Hidrokarbon Alifatik hingga β -oksidasi (Gaudy dan Gaudy, 1980)



Gambar 2.4 Siklus Krebs (Trihadingrum, 2012)



Gambar 2. 5 Sistem Transport Elektron
(Trihadingrum, 2012)

Pada teknik pemulihan tanah tercemar *crude oil* terdapat dua pendekatan yang dapat digunakan yaitu bioaugmentasi dimana mikroorganisme pengurai ditambahkan untuk melengkapi populasi mikroba yang telah ada, dan biostimulasi di mana pertumbuhan pengurai hidrokarbon asli dirangsang dengan cara menambahkan nutrisi. Metode biostimulasi dengan penambahan nutrisi pada proses pemulihan tanah tercemar *crude oil* diasumsikan mampu menstimulasi pertumbuhan mikroba tanah. Dalam waktu tertentu, pemulihan dengan teknik ini mampu menurunkan konsentrasi *crude oil*. Pertumbuhan mikroba alami pada tanah tercemar tersebut akan mendegradasi hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* (Handrianto *et al.*, 2012).

Nutrien adalah unsur-unsur atau senyawa yang dapat digunakan untuk membentuk komponen sel yang baru dan dapat digunakan sebagai sumber energi guna kelangsungan aktifitas sel (Trihadiningrum, 2012). Mikroorganisme, sebagaimana makhluk hidup lainnya membutuhkan nutrisi untuk sumber energi dan memenuhi keperluan biosintesis. Energi yang dibutuhkan mikroorganisme untuk melakukan semua aktifitas selnya bersumber dari cahaya matahari atau dari oksidasi senyawa-senyawa kimia. Atom C diperlukan oleh semua jenis organisme karena merupakan pembentuk komponen seluler yang sangat esensial. Semua senyawa organik yang dibutuhkan oleh organisme mengandung atom C, baik yang diperlukan untuk metabolisme (karbohidrat, protein, lemak), maupun yang diperlukan untuk membentuk komponen-komponen sel. Semua makhluk hidup membutuhkan nitrogen untuk membentuk asam amino, nukleotida, dan vitamin. Bakteri-bakteri tertentu

menggunakan protein atau polipeptida sebagai sumber N. Oksigen diperlukan untuk membentuk kebanyakan molekul-molekul organik, seperti nukleotida, asam amino, karbohidrat, dan sebagainya. Kebutuhan akan unsur ini dapat diperoleh dari nutrisi organik atau oksigen bebas (Trihadiningrum, 2012).

Sampah organik yang ditambahkan pada tanah terkontaminasi hidrokarbon pada proses *co-composting* berperan sebagai bahan untuk menstimulasi peningkatan aktifitas bakteri dalam tanah tercemar *crude oil* dan memberikan tambahan kadar hara pada tanah (Hardianto *et al.*, 2012). Penambahan nutrisi khususnya kadar hara N, P, K pada tanah tercemar *crude oil* akan menambah konsentrasi kadar hara pada tanah sehingga kadar hara pada tanah mencukupi (Handrianto *et al.*, 2012). Peningkatan konsentrasi kadar hara tanah dapat menstimulasi pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroba, salah satunya bakteri hidrokarbonoklastik (Udiharto, 2005). Pada proses metabolisme bakteri hara N digunakan sebagai penyusun protein, asam nukleat, dan koenzim. Hara P digunakan sebagai penyusun asam nukleat, fosfolipid, dan koenzim. Hara K digunakan sebagai kofaktor beberapa enzim (Handrianto *et al.*, 2012). Unsur C digunakan bakteri sebagai penyusun makromolekul sel misalnya protein, karbohidrat, asam nukleat, dan lipid. Semua molekul yang mengandung karbon ini terlibat dalam proses metabolisme. Tercukupinya kebutuhan nutrisi untuk perkembangbiakan bakteri ini akan menambah jumlah bakteri tersebut. Pertambahan jumlah dari bakteri ini akan memaksimalkan proses degradasi hidrokarbon *crude oil* sehingga penurunan konsentrasi hidrokarbon lebih optimum (Suharni, 2008). Penambahan sampah organik juga berfungsi dalam meningkatkan struktur dan jaringan tanah (menggemburkan dan menahan air) sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman dan organisme lain pada tanah dan menambah pori pada tanah sehingga meningkatkan aerasi (Chijioke-Osuji *et al.*, 2014; Atagana, 2008).

2.2.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi *Co-composting*

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengomposan dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu berdasarkan campuran komposisi komposting dan berdasarkan proses

pengomposannya (Bernal *et al.*, 2009). Bernal *et al.* (2009) mengatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengomposan berdasarkan campuran komposisi komposting yaitu:

- Keseimbangan nutrisi (rasio C/N)
Keseimbangan nutrisi dalam proses pengomposan dapat didefinisikan sebagai rasio C/N. Mikroorganisme membutuhkan sumber energi (C organik *degradable*) dan N untuk perkembangan dan aktifitasnya. Rasio C/N yang cukup dan sesuai dalam proses komposting adalah pada kisaran 25-50 karena mikroorganisme membutuhkan 30°C per unit N (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Rasio C/N yang terlalu tinggi dapat menyebabkan proses pengomposan berjalan sangat lambat karena berlebihnya substrat *degradable* untuk mikroorganisme. Rasio C/N yang terlalu kecil menunjukkan berlebihnya jumlah N per *degradable* C dan berlebihnya jumlah inorganik N dan dapat hilang akibat penguapannya amonia atau lepas dari massa komposting. Rasio C/N yang rendah dapat diperbaiki dengan menambahkan *bulking agent* untuk menyediakan C organik *degradable*.
- pH
Pada kisaran pH 6,7-9 bagus untuk aktifitas mikroba selama proses pengomposan (Bernal *et al.*, 2009). Menurut Miller (1992), pH optimum pada proses pengomposan adalah pada kisaran 5,5-8. pH tidak menjadi faktor utama pada komposting apabila material yang dikomposkan mempunyai nilai pH pada kisaran 6,7-9. Nilai pH sangat penting dalam mengontrol penurunan nitrogen (N) akibat penguapan amonia. Penurunan N terjadi apabila kondisi pH > 7,5. Penambahan senyawa sulfur (S) dilakukan untuk menghindari tingginya nilai pH selama pengomposan (Mari *et al.*, 2005).
- Ukuran partikel
Ukuran partikel dan distribusi sangat penting dalam menyeimbangkan area permukaan untuk tumbuhnya mikroorganisme dan memelihara porositas yang cukup untuk aerasi. Ukuran partikel yang semakin besar maka semakin kecil area permukaan untuk tumbuhnya

mikroorganisme. Kompos dengan ukuran partikel yang besar tidak terdekomposisi dengan baik karena partikel bagian dalam sulit dicapai oleh mikroorganisme (Bernal *et al.*, 2009). Ukuran partikel yang terlalu kecil juga tidak bagus karena dapat mengakibatkan porositas yang kecil dan rapat. Ukuran partikel yang memberikan hasil optimum pada komposting adalah 25–75 mm (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

➤ Porositas

Persentase porositas pada komposting skala kecil adalah berada pada kisaran 35-50%. Porositas yang lebih besar dari 50% dapat mengakibatkan tumpukan kompos bersuhu rendah karena energi dapat menghilangkan pembentukan panas (Bernal *et al.*, 2009).

➤ Kelembapan

Kelembapan optimum pada komposting adalah sebesar 50-60% (Gajalakshmi dan Abbasi, 2008). Apabila kelembapan kompos melebihi 60% maka pergerakan O₂ terganggu dan menyebabkan proses berubah menjadi anaerobik.

Bernal *et al.* (2009) mengatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pengomposan berdasarkan proses pengomposannya yaitu:

➤ Kebutuhan O₂

Aerasi adalah salah satu faktor penting dalam komposting. Aerasi yang benar dapat mengontrol temperatur, mengurangi kelembapan dan jumlah CO₂ yang berlebih, dan menyediakan O₂ untuk proses biologis (Bernal *et al.*, 2009). Konsentrasi O₂ yang optimal adalah antara 15% dan 20% (Miller, 1992). Pengontrolan aerasi harus dapat memelihara temperatur kompos di bawah 60-65°C yang menjamin ketersediaan O₂ yang cukup.

➤ Suhu

Perubahan nilai suhu menunjukkan aktifitas mikroba dan jenis proses pada komposting. Suhu optimum pada proses komposting adalah sebesar 40-65°C (Bernal *et al.*, 2009). Suhu di atas 55°C diperlukan untuk membunuh mikroorganisme patogen. Apabila suhu telah melebihi range suhu termofilik dekomposer maka dapat

mengakibatkan rusaknya proses pengomposan. Pada suhu di atas 63°C, aktifitas mikoba mengalami penurunan dengan cepat karena suhu optimum termofilik telah dilampaui dan aktifitas mikroba akan terus menurun hingga suhu 72°C. Pada range suhu 52-60°C adalah sangat bagus untuk proses dekomposisi (Miller, 1992). Penurunan suhu yang terlalu tinggi pada pengomposan dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan mengontrol ukuran dan bentuk sampah dan meningkatkan pendinginan dengan membolak-balikkan dan mengaduk kompos (Bernal *et al.*, 2009).

- Kadar air
Kadar air optimum pada proses pengomposan aerobik adalah pada kisaran 50-60%. Kadar air dapat disesuaikan dengan mencampur komponen atau penambahan air. Apabila kadar air kompos di bawah 40% dapat mengakibatkan proses pengomposan berjalan lambat (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

2.3 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu berikut ini telah dilakukan untuk membuktikan bahwa *co-composting* tanah tercemar *crude oil* dengan bahan organik mampu menurunkan kadar hidrokarbon yang terkandung di dalamnya :

- Stefanoff dan Garcia (1995) mengemukakan Angkatan udara Amerika Serikat mencoba meremediasi tanah terkontaminasi hidrokarbon di Pangkalan Udara McClellan California dengan *co-composting* menggunakan sampah dapur. Hidrokarbon yang tersisihkan sebesar 90% selama 90 hari pengomposan.
- Beaudin *et al.* (1996) mengemukakan kadar hidrokarbon berkurang sampai 50% pada tanah tercemar minyak dengan proses *co-composting* menggunakan sampah kebun.
- Jorgensen *et al.* (2000) mengemukakan kadar hidrokarbon berkurang sampai 71% pada tanah tercemar *crude oil* dengan proses *co-composting* menggunakan sampah kulit kayu.

- Namkoong *et al.* (2002) mengemukakan kadar hidrokarbon berkurang sampai 99% pada *co-composting* tanah tercemar *crude oil* dengan kompos matang.
- Ma *et al.* (2003) mengemukakan PAH terdegradasi sampai 55,3% pada *co-composting* tanah tercemar *crude oil* dengan campuran sampah dapur, ranting, daun, dan kompos matang dengan perbandingan yang sama selama 42 hari.
- Van Gestel *et al.* (2003) mengemukakan penyisihan tanah terkontaminasi hidrokarbon dengan menggunakan campuran sampah sayur, buah, dan taman selama 12 minggu adalah sebesar 86%. Perbandingan campuran sampah organik dengan tanah adalah 9:1. Campuran sampah sayur, buah, dan taman digunakan karena campuran sampah sayur, buah, dan taman mempunyai C:N rasio sebesar 19:1 sedangkan C:N rasio yang menghasilkan konsentrasi hidrokarbon terkecil adalah 17:1.
- Atagana *et al.* (2003) mengatakan *co-composting* antara tanah terkontaminasi hidrokarbon dengan campuran pupuk dari kotoran sapi dan sampah sayur dapat menyisihkan lebih dari 90% hidrokarbon dari tanah.
- Moretto *et al.* (2005) mengatakan PAH terdegradasi sampai 68% pada *co-composting* tanah terkontaminasi jelaga dengan menggunakan campuran sampah kebun dan lumpur dari saluran air limbah selama 130 hari.
- Antizar-Ladislao *et al.* (2005) mengatakan biodegradasi PAH pada tanah terkontaminasi dari pertambangan gas alam mencapai 60,8% dengan *co-composting* menggunakan sampah kebun selama 2 bulan. Perbandingan komposisi tanah dengan sampah adalah 0,8:1.
- Atagana (2008) mengemukakan TPH terdegradasi sampai 67,8% pada *co-composting* tanah terkontaminasi TPH dengan menggunakan campuran lumpur dari saluran air limbah dan sampah kebun dengan perbandingan 50%:50% selama 2 bulan.
- Sayara *et al.* (2010) mengatakan degradasi PAH mencapai 40% pada *co-composting* tanah terkontaminasi

- PAH dengan sampah rumah tangga dengan komposisi perbandingan 1:1 selama 30 hari pengomposan.
- Sayara *et al.* (2011) mengatakan degradasi PAH mencapai 89% pada *co-composting* tanah terkontaminasi dengan sampah rumah tangga dengan komposisi perbandingan 4:1 selama 30 hari pengomposan.
 - Liu *et al.* (2011) mengemukakan kadar TPH berkurang sampai 80% pada *co-composting* tanah tercemar *crude oil* dengan sampah dapur selama 140 hari pengomposan.
 - Handrianto *et al.* (2012) mengatakan *co-composting* campuran kulit kacang tanah dan kotoran ternak dengan perbandingan 1:2 dengan tanah tercemar *crude oil* berpengaruh terhadap penurunan kadar TPH sebesar 66% selama 30 hari pengomposan.
 - Hapsari dan Trihadiningrum (2014) mengemukakan bahwa *co-composting* limbah lumpur berminyak dan sampah basah rumah tangga serta kotoran ternak dengan komposisi 55%:45% mampu mereduksi polutan minyak sampai 72% selama 60 hari.
 - Sinaga dan Trihadiningrum (2015) mengemukakan bahwa *co-composting* aerobik campuran tanah dan sampah kebun dengan komposisi 50%:50% mampu mereduksi PAHs sampai 40,88% selama 60 hari.
 - Mizwar dan Trihadiningrum (2016) mengemukakan bahwa kondisi optimum *co-composting* untuk penyisihan PAHs pada tanah terkontaminasi batubara adalah pada kondisi aerobik karena prosesnya lebih cepat yaitu selama 120 hari dengan efisiensi penyisihan sebesar 71,88%.

2.4 Gambaran Umum Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo, Bojonegoro

Pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo adalah salah satu pertambangan minyak bumi tradisional yang dikelola rakyat di Kabupaten Bojonegoro. Desa Wonocolo terletak di Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro. Secara geografis terletak di perbatasan antara provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah. Wilayah perbukitan mendominasi Desa Wonocolo. Desa ini mempunyai suhu udara yang rendah dan dikelilingi area hutan

yang di sekelilingnya sudah hampir gundul, ada beberapa pepohonan kecil yang belum lama direboisasi. Sebelah Timur Wonocolo berbatasan dengan Desa Banyu Urip. Sebelah Selatan berbatasan dengan Desa Ngantru, sebelah barat berbatasan dengan Desa Kedewan, dan sebelah Utara berbatasan dengan Desa Kali Gede. Luas wilayah Desa Wonocolo \pm 140 km². Dihuni oleh 460 kepala keluarga atau 1913 jiwa (Naumi dan Trilaksana, 2015). Kondisi kawasan pertambangan minyak bumi rakyat di Wonocolo, Bojonegoro dapat dilihat pada Gambar 2.6.

Latar belakang penambangan minyak tradisional adalah karena di Desa Wonocolo terdapat banyak sumur tua peninggalan Belanda yang dimanfaatkan kembali pada tahun 1970an karena terjadi kenaikan harga minyak yang tinggi sehingga kegiatan penambangan minyak itu secara ekonomis akan menguntungkan. Proses kegiatan penambangan tersebut awalnya dilakukan secara tradisional, namun setelah tahun 1980-an menggunakan teknologi baru dengan menggunakan mesin diesel dan mobil bekas untuk menggerakkan pompa minyak. Secara ekonomis kegiatan penambangan minyak kurang menguntungkan masyarakat penambang, karena sistem pembagian yang kurang adil dan harga yang relatif murah. Namun dibandingkan dengan usaha pertanian tetap lebih menguntungkan. Dampak negatif dari usaha penambangan adalah adanya konflik horizontal antar warga dan pencemaran lingkungan yang perlu mendapat perhatian dari pemerintah (Naumi dan Trilaksana, 2015). Pada kawasan pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo terdapat sejumlah 44 sumur dengan kapasitas produksi 25.771 L/hari (Handrianto *et al.*, 2012).



Gambar 2.6 Kawasan Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo

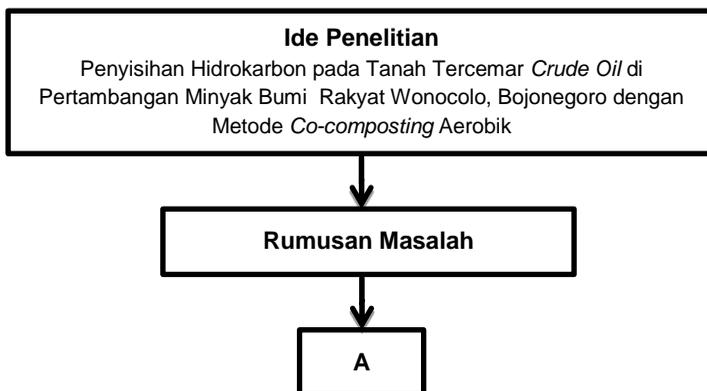
BAB 3 METODE PENELITIAN

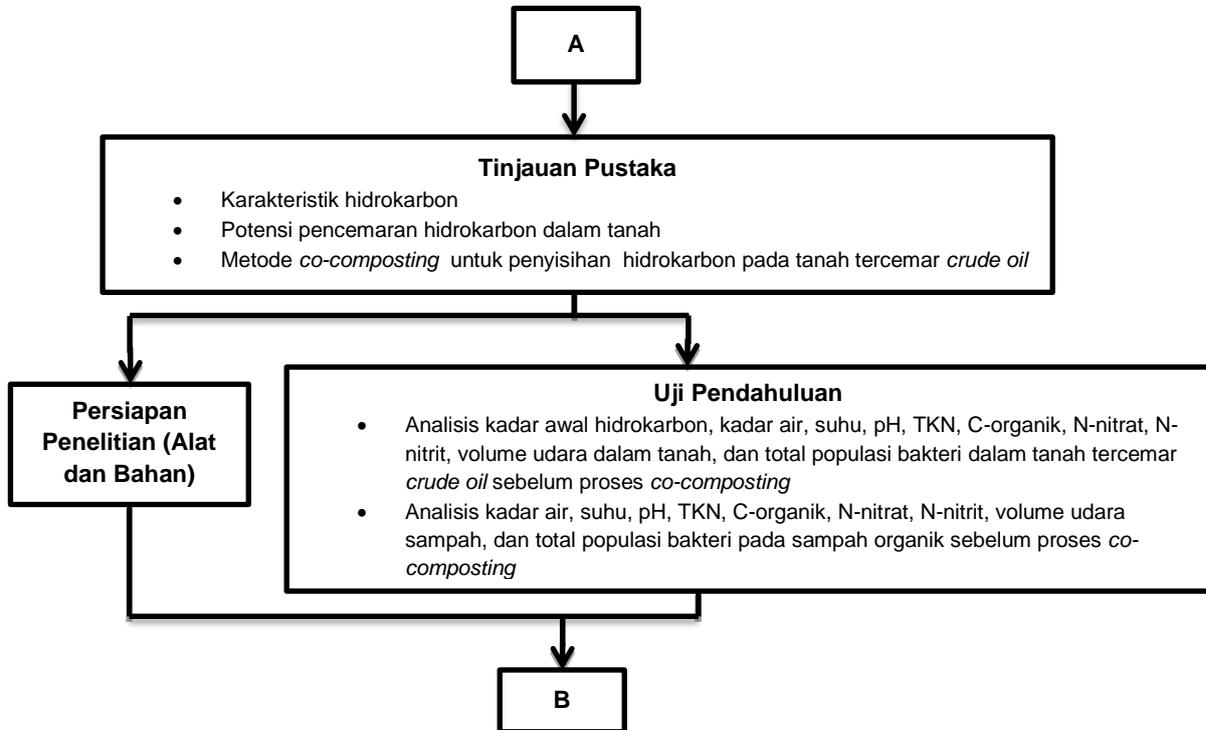
3.1 Gambaran Umum Penelitian

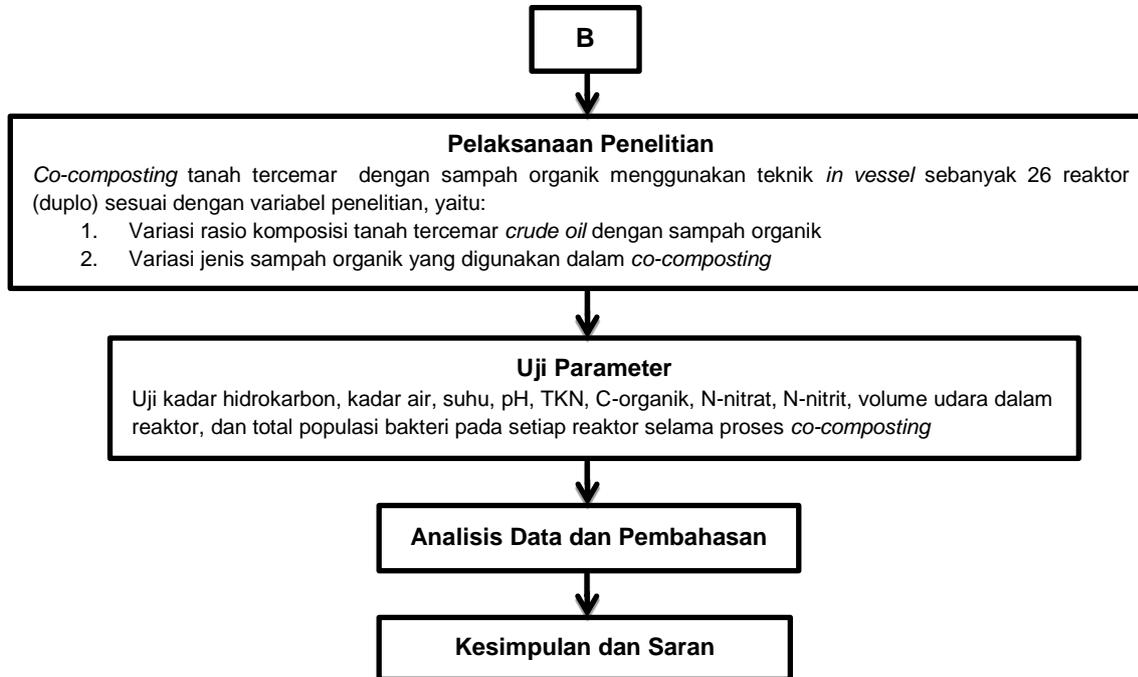
Penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian eksperimental skala laboratorium. Penelitian akan dilaksanakan di Workshop Penelitian dan Laboratorium Limbah Padat dan B3, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. Sampel tanah tercemar *crude oil* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari area pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo di Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur. Sampah organik *biodegradable* sebagai bahan baku kompos berupa sampah kebun dan rumen sapi lokal. Sampah kebun dan rumen sapi lokal yang digunakan berasal dari Rumah Kompos ITS, Surabaya dan RPH Pegirian, Surabaya.

3.2. Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan gambaran awal tahap-tahap penelitian. Kerangka penelitian bertujuan untuk memudahkan penelitian dan penyusunan laporan serta mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan penelitian agar tujuan penelitian dapat tercapai. Kerangka penelitian yang berupa diagram alir dapat dilihat pada Gambar 3.1.







Gambar 3. 1 Kerangka Metode Penelitian

3.3 Tahapan Penelitian

Adanya tahapan penelitian secara sistematis akan membantu pelaksanaan penelitian sesuai dengan prosedur sehingga mampu menjawab tujuan penelitian. Penelitian yang akan dilakukan terdiri dari beberapa tahapan yang tersusun secara sistematis untuk membantu pelaksanaannya sesuai dengan prosedur sehingga mampu menjawab tujuan penelitian. Adapun tahapan-tahapan penelitian tersebut adalah:

1. Ide Penelitian

Ide penelitian ini dilatarbelakangi oleh beberapa hal, salah satunya adalah kadar hidrokarbon yang tinggi pada tanah tercemar *crude oil* di area pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo, Bojonegoro. Pada tanah tercemar *crude oil* di daerah pertambangan minyak bumi di Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur mengandung *total petroleum hydrocarbon* (TPH) sebesar 4,12% (Handrianto *et al.*, 2012). Kadar TPH tersebut melebihi baku mutu yang berlaku berdasarkan Lampiran 2 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2013 yaitu 1% (Kepmen LH, 2013). Berdasarkan sifatnya, hidrokarbon dalam tanah sulit diuraikan dan bersifat toksik sehingga dapat mengganggu pertumbuhan tanaman dan organisme lain yang tumbuh di dalamnya. Tingginya potensi resiko yang ditimbulkan oleh hidrokarbon terhadap kesehatan manusia dan pencemaran lingkungan sehingga diperlukan pengolahan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* yang efektif, mudah diaplikasikan, dan murah.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk penyisihan hidrokarbon dalam tanah tercemar *crude oil* dengan metode *co-composting* aerobik. *Co-composting* merupakan penambahan dua bahan kompos sehingga dapat meningkatkan laju degradasi polutan dalam tanah. Namun komposisi dan jenis sampah organik *biodegradable* yang optimum pada metode *co-composting* belum diketahui secara pasti. Hal ini yang menjadi dasar ide penelitian yang diharapkan dapat menjadi salah satu teknologi untuk mengoptimalkan

proses pemulihan tanah tercemar *crude oil* menggunakan metode *co-composting* aerobik.

2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini meliputi: berapakah kadar hidrokarbon pada sampel tanah tercemar *crude oil* yang berasal dari pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo, Bojonegoro; apakah hidrokarbon dapat disisihkan dengan metode *co-composting* aerobik menggunakan sampah organik *biodegradable* yang berasal dari kebun dan rumah potong hewan (RPH); dan pada jenis sampah organik manakah efisiensi penyisihan hidrokarbon dengan metode *co-composting* aerobik pada tanah tercemar *crude oil* berjalan optimum.

3. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka digunakan untuk mengumpulkan informasi yang mendukung dan memperkuat hasil analisis penelitian. Tinjauan pustaka juga meningkatkan pemahaman mengenai metode penelitian yang akan digunakan. Adapun sumber referensi dalam penyusunan tinjauan pustaka ini adalah jurnal penelitian internasional dan nasional, *textbook*, dan artikel yang berhubungan dengan penelitian ini.

4. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal tanah tercemar *crude oil* dan bahan kompos berupa sampah organik *biodegradable* sebelum *co-composting*. Hal ini dilakukan agar dapat melakukan prediksi terhadap perubahan yang terjadi pada kondisi sebelum, selama, dan sesudah *co-composting*. Parameter yang diuji pada tanah tercemar *crude oil* adalah kadar awal hidrokarbon, kadar air, suhu, pH, *Total Kjeldahl Nitrogen* (TKN), N-nitrat, N-nitrit, C-organik, volume udara dalam reaktor, dan total populasi bakteri.

➤ Pengambilan Sampel Tanah Tercemar *Crude Oil*

Sampel tanah tercemar *crude oil* yang digunakan pada penelitian ini diambil dari area pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo, Bojonegoro. Sampel tanah tercemar *crude oil* diambil

dari 3 tempat produksi minyak bumi yaitu area sekitar sumur minyak, area penyulingan, dan jalur pengangkutan. Tanah kontrol yang tidak tercemar *crude oil* juga diambil sampel yang digunakan sebagai pembanding dan analisis struktur tanah asli. Penentuan titik pengambilan sampel tersebut dilakukan secara *purposive sampling* berdasarkan jarak dari titik pertambangan minyak bumi.

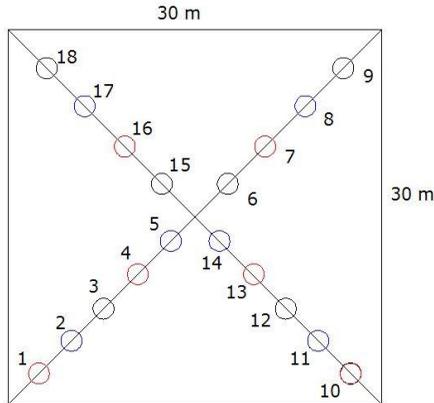
Margesin dan Schinner (2005) menjelaskan pengambilan sampel tanah di sekitar sumur minyak dilakukan dengan menggunakan pola diagonal. Pola diagonal digunakan dalam pengambilan sampel tanah di sekitar sumber pencemar berupa titik poin yaitu sumur minyak. Pola diagonal dalam pengambilan sampel tanah digunakan untuk pemantauan pencemaran tanah dalam jangka panjang yang disebabkan oleh kegiatan manusia. Pertama-tama dipilih area di sekeliling sumur minyak yang representatif dengan pola persegi yaitu seluas 1.000 m^2 . Kemudian area ini dibagi menjadi 4 persegi yang lebih kecil masing-masing seluas 250 m^2 . Kemudian dibuat pola diagonal di dalam persegi. Kemudian menyiapkan 3 sampel komposit dengan cara berikut ini:

- a. Mengkompositkan single sampel pada posisi 1, 4, 7, 10, 13, dan 16 sebagai sampel komposit 1
- b. Mengkompositkan single sampel pada posisi 2, 5, 8, 11, 14, dan 17 sebagai sampel komposit 2
- c. Mengkompositkan single sampel pada posisi 3, 6, 9, 12, 15, dan 18 sebagai sampel komposit 3

Sampling pola diagonal dapat dilihat pada Gambar 3.2.

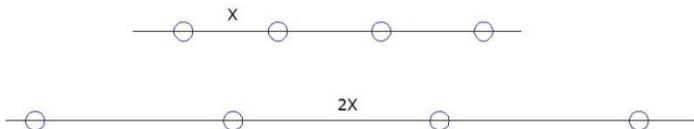
Margesin dan Schinner (2005) menjelaskan pengambilan sampel tanah di area penyulingan dilakukan dengan menggunakan *random sampling* atau pengambilan sampel tanah secara acak. *Random sampling* digunakan dalam pengambilan sampel tanah di area penyulingan karena sumber pencemaran dari area penyulingan tidak berupa titik poin namun berupa area penyulingan dengan luas dan panjang tertentu. *Random sampling* juga digunakan karena jarak antara satu area penyulingan dengan yang lain relatif dekat kurang dari 25 meter sehingga tidak mungkin dibuat pola diagonal sampling. Pada area penyulingan diambil 3 titik sampling secara acak, kemudian masing-masing sampel dikompositkan menjadi satu sampel baru.

Sampel komposit kedua juga diambil dari 3 titik sampling secara acak kemudian dikompositkan menjadi satu sampel baru sehingga ada 2 sampel komposit dari area penyulingan.



Gambar 3.2 Sampling Pola Diagonal

Margesin dan Schinner (2005) menjelaskan pengambilan sampel tanah pada jalur pengangkutan dilakukan dengan menentukan titik sampling di sepanjang jalur pengangkutan dengan membuat struktur garis-garis atau metode *sampling along linear source*. Metode ini digunakan karena kontaminasi yang terjadi pada jalur pengangkutan mengikuti struktur garis yang disebabkan oleh tumpahan minyak saat diangkut atau kebocoran pipa. Pada jalur pengangkutan diambil 2 komposit sampel tanah yang masing-masing dicampur dari 4 titik sampling yang berbeda. Ada 2 struktur garis paralel dalam pengambilan sampel tanah. Setiap satu struktur garis terdapat 4 titik sampling yang kemudian dikomposit menjadi satu sampel baru. Pola *sampling along a linear source* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



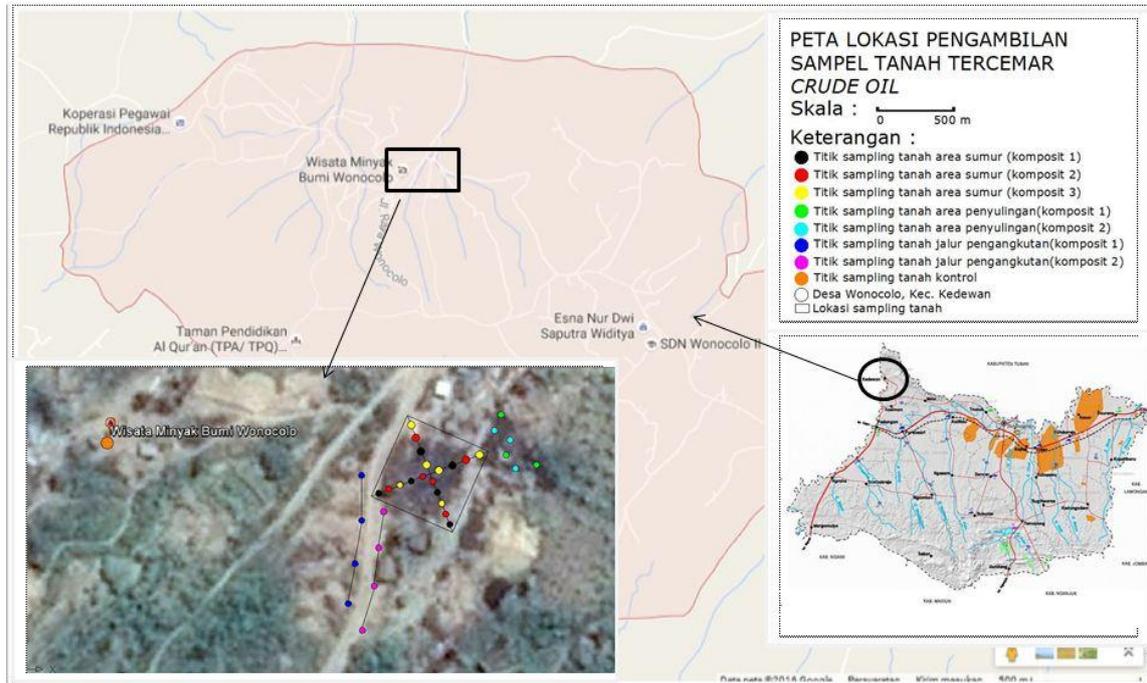
Gambar 3.3 Sampling Along A Linear Source

Jumlah total sampel komposit tanah tercemar adalah 7 sampel tanah tercemar crude oil yang terdiri dari: 3 sampel komposit sumur minyak, 2 sampel komposit dari area penyulingan, dan 2 sampel komposit dari jalur pengangkutan. Metode komposit merupakan pengambilan sampel dari dua reaktor yang mengalami perlakuan sama dan dicampur hingga menjadi satu sampel baru.

Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan cara manual menggunakan cangkul dan sekop. Sampel yang diambil adalah lapisan tanah atas atau permukaan (*topsoil*) pada kedalaman 0-30 cm karena apabila pada tanah permukaan mengandung hidrokarbon maka kadar hidrokarbon dalam tanah tersebut tinggi (Sayara *et al.*, 2010). Pada penelitian ini tanah dari masing-masing titik pengambilan sampel tersebut baru dicampur dan diaduk hingga homogen dan menjadi satu sampel baru (komposit) setelah analisis ayakan. Pengkompositan sampel tanah pada penelitian ini bertujuan untuk mengurangi biaya analisis, untuk menggambarkan konsentrasi rata-rata suatu zat atau substansi dalam lapisan tanah, dan memudahkan pada pengaplikasian untuk remediasi lahan terkontaminasi hidrokarbon (Margesin dan Schinner, 2005). Peta lokasi pengambilan sampel tanah tercemar *crude oil* di pertambangan minyak bumi rakyat Desa Wonocolo, Kec. Kedewan, Kab. Bojonegoro dapat dilihat pada

Gambar

3.4.



Gambar 3.4 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah Tercemar *Crude Oil*

➤ **Preparasi Sampel Tanah Tercemar *Crude Oil***

Pewadahan sampel tanah tidak boleh menggunakan bahan plastik. Setelah itu sampel tanah dimasukkan ke dalam karung yang bagian dalamnya telah dilapisi dengan kain menggunakan sekop. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir kemungkinan terjadinya reaksi antara *phthalate esters* dengan hidrokarbon lain dari plastik (US-EPA, 2007).

Tanah dari masing-masing titik pengambilan sampel kemudian diayak dengan saringan 10 mesh (2 mm) untuk mendapatkan ukuran partikel ≤ 2 mm dan memisahkan bahan pengotor seperti batu, kerikil, dan sampah serta untuk memperluas luas permukaan tanah sehingga proses *co-composting* berjalan lebih cepat dan efektif (Sayara *et al.*, 2010). Analisis ayakan sampel tanah tercemar *crude oil* dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS.

Pengawetan sampel tanah tercemar *crude oil* dilakukan dengan cara menyimpan sampel tanah di dalam lemari pendingin dengan suhu 4°C hingga sampel digunakan (Sayara *et al.*, 2010). Hal ini dilakukan untuk menjaga sampel agar tidak rusak, tetap bersifat representatif, dan sifat asli sampel tidak berubah. Pada suhu 4°C aktifitas dan pertumbuhan mikroorganisme berhenti sehingga kandungan dalam sampel tanah tidak mengalami perubahan.

➤ **Karakteristik Awal Tanah Tercemar *Crude Oil***

Penentuan karakteristik awal tanah tercemar *crude oil* dilakukan di laboratorium untuk mengetahui kadar parameter yang diukur. Uji kadar awal hidrokarbon, kadar air, suhu, pH, *Total Kjeldahl Nitrogen* (TKN), N-nitrat, N-nitrit, C-organik, volume udara dalam reaktor, dan total populasi bakteri dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B3, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. Hasil dari penelitian pendahuluan ini akan dijadikan sebagai acuan dasar parameter bahan kompos penelitian.

➤ **Karakteristik Sampah Organik *Biodegradable***

Sampah organik *biodegradable* yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah kebun dan sampah rumah potong hewan (RPH). Sampah kebun berupa daun dan ranting diambil dari Rumah Kompos ITS, Surabaya. Sampah RPH berupa rumen sapi lokal yang diambil dari RPH Pegirian, Surabaya. Pengukuran terhadap karakteristik awal sampah kebun dan sampah RPH

(rumen sapi lokal) dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik awal sampah organik *biodegradable* sehingga dapat dilihat perkembangan dan pengaruhnya selama *co-composting*.

A. Sampah Kebun

Sampah kebun digunakan dalam penelitian ini karena berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, penurunan hidrokarbon dalam tanah terkontaminasi sebesar 67,8% pada *co-composting* campuran antara tanah terkontaminasi dengan sampah kebun dengan rasio 1:1 (Atagana, 2008). Sampah kebun memiliki kadar C yang tinggi dan baik untuk pengomposan (Van Gestel *et al.*, 2003). Tchobanoglous *et al.* (1993) mengatakan karakteristik sampah kebun berupa daun dan ranting dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Karakteristik Sampah Kebun

Karakteristik	Nilai
N total	0,5 - 1
C/N	40 - 80
C organik	20 - 80

Sumber: Tchobanoglous *et al.* (1993)

B. Sampah RPH (Rumen Sapi Lokal)

Sampah RPH berupa rumen sapi lokal digunakan dalam penelitian ini karena berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, proses pengomposan menggunakan sampah RPH berupa rumen sapi lokal mempunyai rasio C/N sebesar 11,83 yang bagus dalam pengomposan (Ratnawati dan Trihadiningrum, 2016). Hasil *co-composting* tanah terkontaminasi hidrokarbon dengan pupuk dari kotoran sapi yang dicampur dengan sampah sayur menunjukkan penyisihan hidrokarbon sebesar 90% (Atagana *et al.*, 2003). Sampah RPH berupa rumen sapi lokal mempunyai kadar N dan P yang hampir sama tingginya dengan kotoran sapi dapat mendorong perkembangan aktifitas mikroorganisme sehingga dapat diolah dengan pengomposan (Ratnawati dan Trihadiningrum, 2016; Bernal *et al.*, 2009). Namun, *co-*

composting dengan menggunakan sampah RPH berupa rumen sapi lokal masih jarang dilakukan sehingga perlu dilakukan penelitian lebih jauh mengenai itu. Ratnawati dan Trihadiningrum (2016) mengatakan karakteristik sampah RPH berupa rumen sapi lokal dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Karakteristik Sampah RPH (Rumen Sapi Lokal)

Karakteristik	Hasil Analisa Fisik
	Rumen Sapi Lokal
Fisik	Berupa serat seperti rumput Berwarna kuning kecoklatan Tidak terlalu basah Berbau amoniak
Kimia	pH 8,05 Kadar air 82,77 % C organik 39,34 % Suhu 33°C N Total 3,19% C/N 12,33

Sumber: Ratnawati dan Trihadiningrum (2016)

C. Campuran Sampah Kebun dan Sampah RPH berupa Rumen Sapi Lokal

Kombinasi sampah kebun dan sampah RPH berupa rumen sapi lokal juga digunakan pada *co-composting* dalam penelitian ini. Kombinasi sampah kebun dan sampah RPH berupa rumen sapi lokal bertujuan untuk penyeimbangan rasio C/N dan penyeimbangan jumlah mikroba (Van Gestel *et al.*, 2003). Hal ini dilakukan untuk mencari bahan organik terbaik yang dapat mereduksi kadar hidrokarbon dalam tanah tercemar *crude oil*.

C/N rasio dan kadar air campuran sampah kebun dan sampah RPH (rumen sapi lokal) dianalisis dan dihitung sebelum penelitian dilakukan. Perhitungan bertujuan untuk menentukan

keefektifan campuran sampah organik untuk digunakan sebagai bahan baku proses *co-composting*. Karakteristik sampah organik yang dapat digunakan sebagai bahan pengomposan adalah rasio C/N 25-50, kelembapan 50%-60%, ukuran partikel 25 mm-75 mm, pH 7,0-7,5, suhu operasi awal 30°C- 38°C pada fase mesofilik (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Diketahui:

- C/N sampah daun = 24 (Sari *et al.*, 2015)
- C/N sampah RPH (rumen sapi lokal) = 12,33 (Ratnawati dan Trihadiningrum, 2016)
- C/N sampah ranting = 200 (Cooperband, 2002)
- Nitrogen sampah daun = 0,5% (Tchobanoglous *et al.*, 1993)
- Nitrogen sampah RPH (rumen sapi lokal) = 3,19% (Ratnawati dan Trihadiningrum, 2016)
- Nitrogen sampah ranting = 0,1% (Cooperband, 2002)
- Kadar air sampah daun = 50% (Tchobanoglous *et al.*, 1993)
- Kadar air sampah RPH (rumen sapi lokal) = 60% (dikondisikan)
- Kadar air sampah ranting = 50% (dikondisikan)
- C/N rasio standart untuk pengomposan = 25-50 (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

Perhitungan Rasio C/N :

- Sampah daun = 0,375 kg
 Berat kering = Berat basah – (kadar air x berat basah)
 = 0,375 – (50% x 0,375)
 = 0,1875 kg
 N = nitrogen sampah daun x berat kering
 = 0,5% x 0,1875 kg
 = 0,000938 kg
 C = N x C/N sampah daun
 = 0,000938 kg x 24
 = 0,0225 kg
- Sampah RPH (rumen sapi lokal) = 0,25 kg
 Berat kering = Berat basah – (kadar air x berat basah)
 = 0,25 – (60% x 0,25 kg)
 = 0,1 kg

$$\begin{aligned}
 N &= \text{nitrogen sampah RPH} \times \text{berat kering} \\
 &= 3,19\% \times 0,1 \text{ kg} \\
 &= 0,00319 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= N \times \text{C/N sampah RPH} \\
 &= 0,00319 \text{ kg} \times 12,33 \\
 &= 0,03933 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Sampah ranting = 0,375 kg
 Berat kering = Berat basah – (kadar air x berat basah)
 $= 0,375 - (50\% \times 0,375)$
 $= 0,1875 \text{ kg}$

$$\begin{aligned}
 N &= \text{nitrogen sampah ranting} \times \text{berat kering} \\
 &= 0,1\% \times 0,1875 \text{ kg} \\
 &= 0,000188 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= N \times \text{C/N sampah ranting} \\
 &= 0,000188 \text{ kg} \times 200 \\
 &= 0,0375 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

•

$$\text{C/N} = \frac{(\text{sampah daun} \times \text{Csampah daun}) + (\text{sampah RPH} \times \text{Csampah RPH}) + (\text{sampah ranting} \times \text{Csampah ranting})}{(\text{sampah daun} \times \text{Nsampah daun}) + (\text{sampah RPH} \times \text{Nsampah RPH}) + (\text{sampah ranting} \times \text{Nsampah ranting})}$$

$$\text{C/N} = \frac{(0,375 \text{ kg} \times 0,0225 \text{ kg}) + (0,25 \text{ kg} \times 0,03933 \text{ kg}) + (0,375 \text{ kg} \times 0,0375 \text{ kg})}{(0,375 \text{ kg} \times 0,000938 \text{ kg}) + (0,25 \text{ kg} \times 0,00319 \text{ kg}) + (0,375 \text{ kg} \times 0,000188 \text{ kg})}$$

$$\text{C/N} = 26,52$$

Berdasarkan perhitungan nilai C/N rasio diatas, maka bahan campuran antara sampah kebun dan sampah RPH (rumen sapi lokal) dengan komposisi 0,375 kg sampah daun, 0,25 kg sampah RPH (rumen sapi lokal), dan 0,375 sampah ranting dalam satu reaktor telah memenuhi persyaratan minimum C/N rasio bahan kompos yaitu 25-50. Sehingga campuran tersebut merupakan bahan yang baik untuk pengomposan.

Diketahui:

- Kadar air sampah daun = 50 %
- Kadar air sampah RPH = 60 %
- Kadar air sampah ranting = 50%
- Berat basah sampah daun = 0,375 kg
- Berat basah sampah ranting = 0,375 kg
- Berat basah sampah RPH = 0,25 kg

Perhitungan kadar air campuran :

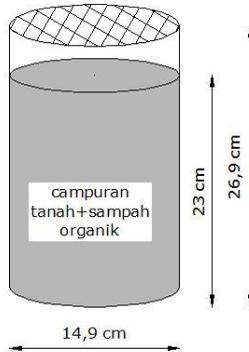
- Berat air sampah daun = kadar air sampah daun x berat basah
$$= 50\% \times 0,375 \text{ kg}$$
$$= 0,1875 \text{ kg}$$
- Berat air sampah RPH = kadar air sampah RPH x berat basah
$$= 60\% \times 0,25 \text{ kg}$$
$$= 0,15 \text{ kg}$$
- Berat air sampah ranting = kadar air sampah ranting x berat basah
$$= 50\% \times 0,375 \text{ kg}$$
$$= 0,1875 \text{ kg}$$
- Kadar air campuran =
$$\frac{\text{Berat air sampah daun} + \text{Berat air sampah RPH} + \text{Berat air sampah ranting}}{\text{Berat basah sampah kebun} + \text{Berat basah sampah RPH} + \text{Berat basah sampah ranting}}$$
$$= \frac{0,1875 \text{ kg} + 0,15 \text{ kg} + 0,1875 \text{ kg}}{0,375 \text{ kg} + 0,25 \text{ kg} + 0,375 \text{ kg}} \times 100\%$$
$$= 52,5\%$$

Berdasarkan perhitungan nilai kadar air di atas, maka bahan kompos campuran antara sampah daun, sampah RPH, dan sampah ranting dengan komposisi 0,375 kg sampah daun, 0,25 kg sampah RPH, dan 0,375 kg sampah ranting dalam satu reaktor memenuhi persyaratan minimum kadar air bahan kompos yaitu 50%-60%.

5. Persiapan Penelitian

Penelitian ini membutuhkan alat dan bahan untuk keberlangsungannya. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Reaktor kaca berdimensi 149 x 269 mm dengan volume 3,5 L sebagai reaktor penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.5. Reaktor akan diisi dengan campuran sampel tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik *biodegradable* sejumlah 1 kg dengan tebal 23 cm.



Gambar 3.5 Desain Reaktor Penelitian

2. Jaring kawat, untuk melindungi bagian atas reaktor kaca yang terbuka dari benda atau hewan asing yang dapat merusak kompos dan membantu dalam aerasi manual
3. Timbangan, untuk menimbang sampel tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik *biodegradable*
4. Mesin pencacah, untuk mencacah sampah organik *biodegradable*
5. Ayakan/saringan 10 mesh, untuk menyaring tanah agar didapatkan ukuran partikel ≤ 2 mm
6. Pengaduk manual berupa kayu dan sekop kecil, untuk mencampur dan mengaduk tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik *biodegradable*
7. Soil tester Takamura DM-15, untuk mengukur kadar air dan pH bahan kompos selama proses *co-composting*
8. Termometer, untuk mengukur suhu selama *co-composting*
9. Lemari pendingin dengan suhu 4°C untuk pengawetan dan penyimpanan sampel tanah tercemar *crude oil*

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampel tanah tercemar *crude oil*
2. Sampah organik *biodegradable* berupa sampah kebun, sampah RPH (rumen sapi lokal), dan campuran sampah kebun dengan sampah RPH (rumen sapi lokal).

6. Pelaksanaan Penelitian dan Pengumpulan Data

➤ Pengambilan dan Preparasi Sampah Organik

Sampah organik yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah kebun dan sampah rumah potong hewan (RPH). Sampah kebun berupa daun dan ranting diambil dari Rumah Kompos ITS, Surabaya. Sampah RPH berupa rumen sapi lokal diambil dari Rumah Potong Hewan, Pegirikan, Surabaya. Masing-masing sampah organik ini dicacah menggunakan mesin pencacah di rumah kompos tersebut. Sampah RPH yang telah dicacah kemudian dipanaskan matahari (*air-dried*) untuk mengurangi kadar airnya yang tinggi (Sayara *et al.*, 2010). Kadar air dari sampah kebun masih dalam level sedang dimana kisarannya tidak melebihi 50% sehingga tidak perlu dipanaskan. Kemudian sampah diayak menggunakan saringan 5 mm untuk memperluas luas permukaan sampah sehingga mempercepat *co-composting* (Sayara *et al.*, 2010). Selanjutnya sampah diaduk untuk mendapatkan bahan kompos yang homogen.

➤ Variabel Penelitian

Variasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah jenis sampah organik untuk bahan kompos dan variasi persen komposisi antara tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik pada *co-composting*. Jenis sampah organik yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah kebun, sampah rumah potong hewan (RPH), dan campuran sampah kebun dan sampah RPH dengan perbandingan yang sesuai dengan hasil perhitungan rasio C/N secara teoritis.

Pada penelitian ini digunakan 4 macam variasi persen komposisi antara tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik pada *co-composting*. Variasi persen komposisi antara tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik yang digunakan pada penelitian ini adalah (50%:50%), (75%:25%), dan (87,5%:12,5%). Penggunaan variasi awal sebesar 50%:50% pada penelitian ini mengacu pada Kepmen LH no. 128 tahun 2003 bahwa remediasi tanah tercemar *crude oil* dengan penambahan bahan organik disarankan perbandingan komposisi tanah dan bahan organik adalah 1:1. Atagana (2008) mengemukakan TPH terdegradasi sampai 67,8% pada *co-composting* tanah terkontaminasi TPH dengan menggunakan campuran lumpur dari saluran air limbah

dan sampah kebun dengan perbandingan 50%:50% selama 2 bulan.

Penggunaan tanah tercemar *crude oil* yang lebih besar pada variasi rasio tanah dan sampah organik berdasarkan pada hasil penelitian terdahulu dan pertimbangan kemudahan pengaplikasian metode ini. Hapsari dan Trihadiningrum (2014) mengemukakan bahwa *co-composting* limbah lumpur berminyak dan sampah basah rumah tangga serta kotoran ternak dengan komposisi 55%:45% mampu mereduksi polutan minyak sampai 72% selama 60 hari. Selain itu, penggunaan tanah tercemar *crude oil* yang lebih besar daripada sampah organik adalah agar lebih aplikatif, murah, dan mempertimbangkan estetika seperti bau sampah yang tidak terlalu menyengat. Aplikasi *co-composting* yang diterapkan pada sistem *landfarming* pada suatu area remediasi yang luas juga harus memperhatikan kemudahan pelaksanaan, biaya, dan estetika.

Tabel 3.3 Variasi pada Reaktor Penelitian

Perbandingan % Komposisi Berat Basah Tanah Tercemar <i>Crude Oil</i> dan Sampah Organik (T:S)	Reaktor		
	Sampah Kebun	Sampah RPH	Sampah Kebun + Sampah RPH
50% : 50%	SK50	RS50	S/R 50
75% : 25%	SK75	RS75	S/R 75
87,5% : 12,5%	SK87,5	RS87,5	S/R 87,5
0% : 100%	SK0	RS0	S/R 0
100% : 0%	T100		

Keterangan:

- SK = Kompos tanah dan sampah kebun
- RS = Kompos tanah dan sampah RPH
- S/R = Kompos tanah dan campuran sampah kebun dengan RPH
- T100 = Reaktor kontrol (tanah tercemar *crude oil*)

Kontrol yang digunakan adalah satu reaktor 100% tanah tercemar crude oil saja dan tiga reaktor masing-masing berisi 100% sampah kebun, sampah RPH, dan campuran sampah kebun dan sampah RPH. Ada 9 variasi ditambah dengan 4 kontrol seperti pada Tabel 3.3. Variasi penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.4 Jumlah Total Reaktor Penelitian

Reaktor	Perbandingan % Komposisi Berat Basah Tanah Tercemar <i>Crude Oil</i> dan Sampah Organik (T:S)	Jumlah Reaktor
T100	100 : 0	2
SK0	0 : 100	2
RS0	0 : 100	2
S/R 0	0 : 100	2
SK50	50 : 50	2
RS50	50 : 50	2
S/R 50	50 : 50	2
SK75	75 : 25	2
RS75	75 : 25	2
S/R 75	75 : 25	2
SK87,5	87,5 : 12,5	2
RS87,5	87,5 : 12,5	2
S/R 87,5	87,5 : 12,5	2
Total Reaktor		26

Penelitian ini menggunakan pengulangan sebanyak dua kali (duplo), sehingga jumlah total reaktor adalah 26 buah. Pengulangan sebanyak dua kali ini bertujuan sebagai pembanding hasil penelitian, untuk menghindari bias, dan sebagai reaktor cadangan jika terjadi kerusakan reaktor atau kesalahan dalam analisa (Sinaga dan Trihadiningrum, 2015). Analisis duplo juga bertujuan untuk memperoleh data yang presisi

dari rata-rata keduanya dan dipilih reaktor dengan hasil yang standar deviasinya $\leq 2\%$ (Harmita, 2004). Jumlah total reaktor yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.4.

➤ **Waktu Pengomposan**

Waktu *co-composting* pada penelitian ini ditetapkan selama 60 hari. Waktu pengomposan dalam penelitian ini didasarkan pada penelitian-penelitian terdahulu. Atagana (2008) mengemukakan TPH terdegradasi sampai 67,8% pada *co-composting* tanah terkontaminasi TPH dengan menggunakan campuran lumpur dari saluran air limbah dan sampah kebun dengan perbandingan 50%:50% selama 2 bulan. Hapsari dan Trihadiningrum (2014) mengemukakan bahwa *co-composting* limbah lumpur berminyak dan sampah basah rumah tangga serta kotoran ternak dengan komposisi 55%:45% mampu mereduksi polutan minyak sampai 72% selama 60 hari.

➤ **Parameter Penelitian dan Pengkondisian Reaktor**

Parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah kadar air, suhu, pH, (*Total Kjeldahl Nitrogen*) TKN, C-organik, N-nitrat, N-nitrit, kadar hidrokarbon, volume udara dalam reaktor, dan total populasi bakteri. Pengukuran terhadap parameter tersebut dilakukan untuk mengetahui kondisi selama *co-composting*. Metode analisis yang digunakan pada setiap parameter dapat dilihat pada Tabel 3.5. Pengkondisian reaktor juga dilakukan pada penelitian ini sehingga bahan kompos diharapkan berada pada kondisi yang sesuai untuk proses komposting. Pengkondisian yang dilakukan pada reaktor kompos dilakukan dengan mengontrol kadar air bahan kompos dan memastikan kondisi reaktor aerobik dengan aerasi berkala dengan pengadukan manual.

Tabel 3.5 Metode Analisis Parameter

No	Parameter	Waktu Sampling	Metode Analisis
1	Kadar air	Setiap 3 hari sekali	Soil Tester Takamura DM-15
2	Suhu	Setiap hari	Termometri
3	pH	Setiap 3 hari sekali	Soil Tester Takamura DM-15
4	TKN	Awal (H0),	Kjeldahl

No	Parameter	Waktu Sampling	Metode Analisis
		pertengahan (H20 dan H40), dan akhir (H60) penelitian	
5	N-nitrat	Awal (H0), pertengahan (H20 dan H40), dan akhir (H60) penelitian	Metode Spektrofotometri
6	N-nitrit	Awal (H0), pertengahan (H20 dan H40), dan akhir (H60) penelitian	Metode Spektrofotometri

Tabel 3.6 Lanjutan 1 Metode Analisis Parameter

No	Parameter	Waktu Sampling	Metode Analisis
7	C-organik	Awal (H0), pertengahan (H20 dan H40), dan akhir (H60) penelitian	Walkley and Black
8	Hidrokarbon	Awal (H0), pertengahan (H20 dan H40), dan akhir (H60) penelitian	Ekstraksi Soxhlet
9	Total Populasi Bakteri	Awal (H0), pertengahan (H20 dan H40), dan akhir (H60) penelitian	<i>Total Plate Count (TPC)</i>
10	Volume udara dalam reaktor	Awal (H0), pertengahan (H20 dan H40), dan akhir (H60) penelitian	ASTM D2216-80 dan ASTM D854-90

Tabel 3.7 Lanjutan 2 Metode Analisis Parameter

No	Parameter	Sumber
1	Kadar air	APHA AWWA dan WEF, 2005
2	Suhu	APHA AWWA dan WEF, 2005
3	pH	APHA AWWA dan WEF, 2005

No	Parameter	Sumber
4	TKN	APHA AWWA dan WEF, 2005
5	N-nitrat	APHA AWWA dan WEF, 2005
6	N-nitrit	APHA AWWA dan WEF, 2005
7	C-organik	APHA AWWA dan WEF, 2005
8	Hidrokarbon	APHA AWWA dan WEF, 2005
9	Total Populasi Bakteri	APHA AWWA dan WEF, 2005
10	Volume udara dalam reaktor	SNI 03 1965-1990 dan SNI 03 1964-1990

Penjelasan mengenai metode pengukuran parameter-parameter dan pengkondisian reaktor kompos pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Kadar air

Kadar air diukur setiap 3 hari sekali menggunakan alat Soil Tester Takamura DM-15. Pengukuran kadar air dilakukan setiap 3 hari sekali karena mengikuti waktu pengkondisian aerasi dengan pengadukan setiap 3 hari sekali (Agarry *et al.*, 2010). Kadar air diukur dengan alat Soil Tester Takamura DM-15 karena untuk mendapatkan nilai kadar air yang akurat, cepat, dan mudah dengan jumlah reaktor yang banyak. Pengukuran kadar air dilakukan untuk mengetahui kadar air campuran kedua bahan sehingga dapat dilakukan pengkondisian kadar air optimum sebesar 50-60%. Penambahan aquades dilakukan jika kadar air kurang dari 50% dan dilakukan pengeringan bahan kompos dengan sinar matahari jika kadar air melebihi 60%. Kelembapan optimum pada komposting adalah sebesar 50-60% (Gajalakshmi dan Abbasi., 2008). Apabila kelembapan kompos melebihi 60% maka pergerakan O₂ terganggu dan menyebabkan proses berubah menjadi anaerobik. Prosedur pengukuran kadar air dapat dilihat pada Lampiran B.

- b. Suhu
- Suhu diukur setiap hari menggunakan alat termometer. Suhu diukur dengan kedalaman pengukuran setengah kedalaman dari dasar bahan kompos di dalam reaktor. Selain suhu dalam reaktor kompos, suhu ruangan tempat reaktor diletakkan juga diukur sehingga dapat diketahui apakah suhu di dalam reaktor kompos mencapai suhu ruang atau tidak. apabila suhu dalam reaktor kompos tidak mencapai suhu ruang maka *co-composting* berjalan tidak baik. Pengukuran suhu pada *co-composting* sebagai faktor penentu berjalan atau tidaknya *co-composting* yang dapat dilihat dari tren perubahan suhu yang terjadi selama proses berlangsung. Tren suhu dalam *co-composting* didapatkan dari analisis suhu. Tren ini dapat menunjukkan tipe tahap pengomposan yang terjadi dan tipe mikroorganisme yang hadir yaitu tahap mesofilik, tahap termofilik, dan diakhiri dengan tahap pematangan (Cahaya, 2008). Prosedur pengukuran suhu dapat dilihat pada Lampiran B.
- c. pH
- pH diukur setiap 3 hari sekali menggunakan alat Soil Tester Takamura DM-15. Pengukuran pH dilakukan setiap 3 hari sekali karena mengikuti waktu pengkondisian aerasi dengan pengadukan setiap 3 hari sekali (Agarry *et al.*, 2010). pH diukur dengan alat Soil Tester Takamura DM-15 karena untuk mendapatkan nilai pH yang akurat, cepat, dan mudah dengan jumlah reaktor yang banyak. Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui kematangan kompos dan merupakan faktor yang penting bagi mikroorganisme untuk mendekomposisikan sampah organik. Prosedur pengukuran pH dapat dilihat pada Lampiran B.
- d. Analisis Rasio C/N
- Pengukuran rasio C/N pada bahan kompos, C yang diukur adalah sebagai C-organik menggunakan metode Walkley and Black. N yang diukur adalah sebagai *Total Kjeldahl Nitrogen* (TKN), nitrogen nitrit (NO₂-N), dan nitrogen nitrat (NO₃-N). Penyajian C/N dihitung dalam bentuk C-organik/N-total yang digunakan sebagai

indikator substrat yang terdegradasi. N-total diperoleh dengan menambahkan TKN, N-nitrat, dan N-nitrit. Rasio C/N bahan kompos diukur sebelum *co-composting* dan setiap 20 hari sekali pada saat *co-composting*. Prosedur pengukuran C-organik, TKN, N-nitrat, dan N-nitrit dapat dilihat pada Lampiran B.

e. Kadar Hidrokarbon

Kadar hidrokarbon diukur untuk mengetahui tingkat penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* dengan *co-composting*. Kadar hidrokarbon pada bahan kompos diukur menggunakan metode ekstraksi soxhlet dan dilanjutkan dengan metode gravimetri. Ekstraksi menggunakan soxhlet dengan pelarut cair merupakan salah satu metode yang paling baik digunakan dalam memisahkan senyawa bioaktif dari alam. Ekstraksi soxhlet dilakukan dengan cara pemanasan dan dilakukan secara berulang atau kontinyu. Metode ini memiliki beberapa kelebihan dibanding yang lain antara lain sampel kontak dengan pelarut yang murni secara berulang, diperoleh hasil ekstraksi relatif banyak dengan jumlah pelarut sedikit, metodenya mudah dan cepat dilakukan, dan tersedianya peralatan ekstraktor soxhlet di laboratorium (Rais, 2014). Pelarut yang digunakan untuk ekstraksi adalah n-heksan, yaitu senyawa hidrokarbon alkana dengan rumus kimia C_6H_{14} . N-heksan dengan titik didih $69^\circ C$ dalam keadaan standar cairan ini bening, tidak berwarna, dan tidak larut dalam air. Kadar hidrokarbon diukur sebelum *co-composting* dan setiap 20 hari sekali pada saat *co-composting*. Prosedur pengukuran kadar hidrokarbon dapat dilihat pada Lampiran B.

f. Total Populasi Bakteri

Total populasi bakteri dilakukan dengan metode *Total Plate Count* (TPC). Metode TPC dilakukan untuk mengetahui jumlah populasi bakteri dan bentuk koloni bakteri yang diisolasi. Karakteristik koloni bakteri dapat merupakan salah satu bagian dalam identifikasi bakteri. Bakteri ditumbuhkan pada media agar datar dalam cawan petri dan diamati bentuk koloninya setelah 24 jam-72 jam menggunakan bakteri coloni counter otomatis.

Total populasi bakteri dilakukan pada hari ke-20 sampai hari ke-60 dari *co-composting*. Prosedur pengukuran kadar hidrokarbon dapat dilihat pada Lampiran B.

g. Volume Udara dalam Reaktor

Volume udara dalam reaktor diukur dengan metode ASTM D2216-80 dan ASTM D854-90 atau SNI 03 1965-1990 dan SNI 03 1964-1990 yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil, FTSP-ITS. Pada pengukuran volume udara dalam reaktor dilakukan dengan pengujian berat volume dan specific gravity pada sampel bahan kompos setiap 20 hari sekali. Selama proses *co-composting* berlangsung, dilakukan pengkondisian reaktor secara aerobik dengan pengadukan secara manual menggunakan alat pengaduk setiap 3 hari sekali dan digunakan jaring kawat untuk melindungi bagian atas reaktor (Agarry *et al.*, 2010). Pengadukan manual dipilih untuk sistem aerasi pada penelitian ini karena jika dilakukan aerasi dengan *supply* gas O₂ terus-menerus pada *co-composting* skala laboratorium dengan volume kecil dapat menyebabkan *co-composting* berjalan kurang efektif dan lambat. Hal ini disebabkan oleh suhu dalam reaktor kompos rendah dan tidak mencapai suhu ruang tempat reaktor kompos diletakkan (Sinaga dan Trihadiningrum, 2015). Sistem pengomposan skala laboratorium dengan volume yang kecil lebih efektif berjalan dengan sistem aerasi menggunakan pengadukan manual untuk menjaga agar suhu dalam reaktor lebih tinggi daripada suhu ruangan (Sinaga dan Trihadiningrum, 2015). Suhu optimum pada proses komposting adalah sebesar 40-65°C (Bernal *et al.*, 2009). Suhu dalam reaktor kompos diharapkan mencapai suhu maksimum untuk mendukung aktivitas bakteri yang mencapai degradasi maksimum dan bagus untuk proses dekomposisi pada range suhu 52-60°C (Miller, 1992). Pengadukan manual untuk aerasi juga dipilih karena tebal bahan kompos dalam reaktor adalah 23 cm dan ketebalan tersebut menyerupai ketebalan lapisan tanah atas (*top soil*) yaitu 0-30 cm dimana oksigen masih bisa masuk secara alami (Margesin dan

Schinner, 2005). Sistem aerasi manual pada pengaplikasian metode *co-composting* untuk bioremediasi lahan tercemar *crude oil* lebih mudah diaplikasikan dan lebih murah. Aerasi dapat dilakukan dengan pembalikan lapisan tanah atas (*top soil*) menggunakan alat berat atau peralatan seperti pada pembajakan lahan pertanian. Selain itu, penggunaan jaring kawat sebagai penutup reaktor bertujuan agar reaktor terhindar dari hal-hal yang dapat mengganggu pengomposan seperti masuknya zat-zat pengotor seperti sampah dan hewan yang dapat merusak reaktor.

7. Prosedur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan menyiapkan sampah organik dan sampel tanah tercemar *crude oil* yang telah diayak. Kadar air tanah dan sampah organik dikondisikan sebesar 50%-60% dengan cara melakukan pengukuran berkala. Ketiga variasi jenis sampah organik disiapkan yaitu berupa sampah kebun, sampah RPH (rumen sapi lokal), dan campuran sampah kebun dan RPH (rumen sapi lokal). Variasi jenis sampah organik ketiga yaitu campuran antara sampah kebun dan sampah RPH (rumen sapi lokal) dicampur dan diaduk hingga merata dengan rasio sesuai perhitungan analisis rasio C/N sampah campuran. Sampah organik dan sampel tanah tercemar *crude oil* dicampur dan diaduk hingga homogen sesuai dengan variasi komposisi yang ditetapkan. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam masing-masing reaktor kaca sebanyak 1 kg berat basah. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap kadar air, suhu, pH, (*Total Kjeldahl Nitrogen*) TKN, C-organik, N-nitrat, N-nitrit, kadar hidrokarbon, volume udara dalam reaktor, dan total populasi bakteri pada setiap komposisi.

Pengukuran kadar air dan pH pada masing-masing reaktor dilakukan menggunakan alat Soil Tester Takamura DM-15. Kadar air dan pH diukur setiap tiga hari sekali. Pengukuran suhu pada setiap reaktor dilakukan setiap hari menggunakan alat termometer. Suhu yang diukur adalah suhu di dalam reaktor kompos dan suhu ruangan. Pengukuran (*Total Kjeldahl Nitrogen*) TKN, C-organik, N-nitrat, N-nitrit, total populasi bakteri, volume udara dalam reaktor, dan kadar hidrokarbon dilakukan pada awal

co-composting (H0), hari ke-20, hari ke-40, dan akhir *co-composting* (H60).

8. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis dilakukan untuk menentukan efisiensi penyisihan hidrokarbon dan untuk menentukan pengaruh jenis sampah organik terhadap penyisihan hidrokarbon, serta menentukan komposisi optimum antara tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik terhadap penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil*. Analisis data dilakukan dengan uji statistik yaitu uji Anova *Two way*. Uji Anova *Two way* dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel bebas (jenis sampah organik dan komposisi tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik) terhadap variabel terikat (tingkat penyisihan hidrokarbon).

Signifikan atau probabilitas (α) memberikan gambaran seberapa besar pengaruh jenis sampah organik dan komposisi tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik terhadap efisiensi penyisihan hidrokarbon dengan metode *co-composting*. Pengujian angka signifikansi digunakan kriteria sebagai berikut:

- a. Jika angka signifikansi $< 0,05$, maka pengaruh kedua variabel bebas terhadap variabel terikat signifikan
- b. Jika angka signifikansi $> 0,05$, maka pengaruh kedua variabel bebas terhadap variabel terikat tidak signifikan

Hipotesis yang diuji adalah:

Ho = koefisien korelasi adalah sama dengan nol

Ha = koefisien korelasi tidak sama dengan nol, signifikan

Semua hasil dari penelitian dan analisis dibahas secara detail sehingga tujuan penelitian tercapai. Uji statistik dilakukan dengan menggunakan software Minitab 16.

9. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis dan merupakan jawaban dari tujuan penelitian. Saran adalah ulasan yang ditujukan untuk perbaikan bagi penelitian selanjutnya. Perbaikan-perbaikan untuk melengkapi dan mengevaluasi penelitian ini dapat dilakukan sebagai penelitian lanjutan oleh peneliti lain

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian *co-composting* ini dilakukan di Workshop Penelitian, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. *Co-composting* dilakukan selama 60 hari yang dimulai pada 8 September 2016 dan berakhir pada 7 November 2016. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan pengulangan dua kali. Persiapan penelitian yang dilakukan adalah pengambilan sampel tanah tercemar *crude oil*, pengumpulan sampah organik *biodegradable* (sampah kebun dan sampah RPH berupa rumen sapi lokal), preparasi sampel tanah tercemar *crude oil* (pengayakan dan pengawetan tanah), preparasi sampah organik *biodegradable* (pencacahan dan pengayakan), dan menyiapkan reaktor.

4.1 Karakteristik Tanah Tercemar *Crude Oil*

Tanah tercemar *crude oil* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari area pertambangan minyak bumi rakyat di Desa Wonocolo, Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro, Propinsi Jawa Timur. Sampel tanah diambil di pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo karena merupakan tambang minyak bumi rakyat di Kabupaten Bojonegoro yang mempunyai jumlah sumur terbanyak dan kapasitas produksi minyak bumi terbesar, yaitu 44 sumur dengan kapasitas produksi 25.771 L/hari (Handrianto *et al.*, 2012). Sampel tanah tercemar *crude oil* diambil di area pengangkutan, penyulingan, dan sekeliling sumur minyak karena pencemaran tanah oleh *crude oil* umumnya diakibatkan oleh proses pengeboran, proses produksi (penyulingan), dan transportasi (Balba *et al.*, 1998). Sampel tanah tidak tercemar *crude oil* juga diambil sebagai tanah kontrol di wilayah Desa Wonocolo, Bojonegoro yang jauh dari sumber pencemar pada elevasi yang lebih tinggi dari area tambang minyak bumi rakyat. Hasil analisis kadar hidrokarbon di keempat area pengambilan sampel tanah dan sampel tanah komposit pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kandungan Hidrokarbon pada Sampel Tanah

No	Jenis Tanah	Kadar Hidrokarbon (%)	
		Sampel tanah	Baku Mutu (*)
1	Tanah Kontrol	0.54	1
2	Tanah Penyulingan	12.31	1
3	Tanah Pengangkutan	4.35	1
4	Tanah Sumur	8.34	1
5	Tanah Komposit (T100)	6.05	1

(*)Kepmen LH No. 128 Tahun 2003

Berdasarkan Tabel 4.1, kadar hidrokarbon pada ketiga sampel tanah tercemar *crude oil* dan komposit ketiganya tergolong tinggi dan melebihi batas baku mutu kadar hidrokarbon dalam tanah yaitu sebesar 1% berdasarkan Lampiran 2 Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003. Oleh karena itu perlu dilakukan proses penyisihan hidrokarbon pada tanah sehingga kadar hidrokarbon dapat memenuhi baku mutu yang berlaku. Pada sampel tanah kontrol menunjukkan bahwa kadar hidrokarbon berada di bawah batas baku mutu yang berlaku sehingga tidak perlu dilakukan proses penyisihan hidrokarbon.

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat kadar hidrokarbon terbesar adalah pada tanah di area penyulingan yaitu sebesar 12,31%. Hal ini disebabkan pada area penyulingan terdapat banyak cecceran baik berupa minyak mentah ataupun hasil olahan dimana proses produksinya dilakukan dengan alat-alat sederhana yang rawan kecelakaan dan kebakaran. Selain itu, proses penyulingan minyak bumi dilakukan di dalam tanah dengan menggali lubang-lubang sehingga kadar hidrokarbon dalam tanah penyulingan tinggi. Pada tanah di area sumur kadar hidrokarbon juga tinggi yaitu sebesar 8,34%. Pada tanah sekitar area sumur sering terkena percikan minyak bumi ketika sumur dioperasikan namun tidak sebanyak cecceran pada area penyulingan karena pengoperasian sumur tidak setiap hari. Selain itu ada beberapa area sumur yang menjadi satu atau jaraknya berdekatan dengan area penyulingan. Kadar hidrokarbon di sepanjang jalur

pengangkutan sebesar 4,35%, kadar hidrokarbon ini lebih rendah daripada pada area penyulingan dan pengangkutan karena tumpahan atau ceceran minyak di area ini memiliki frekuensi yang tidak sebesar tanah di area penyulingan dan sumur.

Pada penelitian ini komposit sampel tanah tercemar *crude oil* terdiri dari campuran tanah sumur, penyulingan, dan pengangkutan dengan perbandingan yang sama. Campuran tanah sebanyak 1 kg berat basah dimasukkan ke dalam reaktor kaca T100 sebagai reaktor kontrol dengan komposisi 100% tanah. Hasil analisis karakteristik awal komposit sampel tanah tercemar *crude oil* pada reaktor T100 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Karakteristik Awal Komposit Sampel Tanah Tercemar *Crude Oil*

Parameter	Satuan	Tanah 100% (T100)
Suhu	°C	33.0
Kadar Air	%	60.0
pH	-	5.0
Nitrat	%	0.0042
Nitrit	%	0.00010
TKN	%	0.595
N-Total	%	0.599
C-Organik	%	14
Rasio C/N	-	23.37
Populasi Bakteri	CFU/gr	4.26.E+07
Volume Udara dalam Tanah	L/menit	0.49
Hidrokarbon	%	6.05

Berdasarkan pada Tabel 4.2, kadar air tanah sebesar 60% setelah dikondisikan berada pada kisaran 50-60% yaitu nilai kadar air ideal dalam pengomposan (Tchobagnogous *et al.*, 1993). Pengkondisian kadar air dilakukan dengan penambahan

air jika kadar air $\leq 50\%$ dan penjemuran di bawah sinar matahari jika kadar air $>60\%$. Pengkondisian kadar air juga dilakukan dengan pengadukan saat penambahan air untuk meratakan kadar air tanah. Nilai pH 5 pada tanah tergolong asam dan pH asam bersifat tidak baik bagi pertumbuhan mikroorganisme pada tanah (Atagana, 2008). Hal ini karena nilai pH yang terlalu asam dan basa dapat menghambat reaksi enzimatik pada mikroorganisme (Trihadiningrum, 2012). Nilai pH pada tanah juga tidak memenuhi nilai pH ideal pada pengomposan yaitu 6,7-9 (Baldan *et al.*, 2015). Nilai pH tanah yang asam dapat diakibatkan oleh tingginya kadar C-organik dalam tanah sehingga banyak terbentuk asam-asam organik hasil penguraian karbon dalam tanah.

Rasio C/N tanah sebesar 23,37 tergolong rendah yang dapat menyebabkan proses pengomposan berjalan lambat karena substrat *degradable* yang kurang untuk mikroorganisme sebagai sumber energi (Bernal *et al.*, 2009). Sumber karbon berasal dari substrat yaitu zat kontaminan, sedangkan pada lahan terkontaminasi jumlah nitrogen sangat rendah. Oleh karena itu, dilakukan penambahan nutrisi atau dilakukan stimulasi pada mikroorganisme dalam mendegradasi substrat sehingga banyaknya fiksasi nitrogen oleh mikroorganisme (Ali, 2012). Total populasi bakteri pada tanah tercemar *crude oil* yaitu $4,3 \times 10^7$ CFU/g (Atagana, 2008). Isolat bakteri yang berasal dari tanah tercemar *crude oil* menghasilkan isolat bakteri pendegradasi minyak bumi sehingga dapat dimanfaatkan untuk penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* (Ali, 2012). Pada tanah tercemar *crude oil* terdapat mikroorganisme aerob yang dapat mengurai hidrokarbon yang disebut mikroorganisme hidrokarbonoklastik (Udiharto, 2005). Menurut Trihadiningrum (2012), mikroorganisme yang dapat menguraikan senyawa hidrokarbon diantaranya adalah *Pseudomonas fluorescens*, *P. oleovorans*, *Acinobacter calcoaceticus*, *Candida lipolytica*, *Arthrobacter paraffineus*, dan *Corybacterium glutamicum*.

4.2 Karakteristik Sampah Organik *Biodegradable*

Bahan baku campuran kompos pada *co-composting* merupakan sampah organik *biodegradable* (sampah kebun dan sampah rumah potong hewan berupa rumen sapi lokal).

Karakteristik awal tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik *biodegradable* sebelum *co-composting* dilakukan agar dapat melakukan prediksi terhadap perubahan yang terjadi pada kondisi sebelum, selama, dan sesudah *co-composting*.

Sampah organik *biodegradable* yang digunakan pada penelitian ini adalah sampah kebun dan sampah rumah potong hewan (RPH) berupa rumen sapi lokal. Sampah kebun berupa daun dan ranting diambil dari Rumah Kompos ITS, Surabaya. Sampah RPH berupa rumen sapi lokal yang diambil dari RPH Pegirian, Surabaya. Preparasi awal yang dilakukan sebelum sampah organik *biodegradable* dicampur dengan tanah untuk *co-composting* adalah pengaturan kadar air sampah organik, pencacahan, dan dilanjutkan dengan pengayakan sampah organik *biodegradable*.

Pada penelitian ini sampah organik berupa sampah kebun, sampah RPH berupa rumen sapi lokal, dan campuran keduanya dimasukkan masing-masing sebanyak 1 kg berat basah ke dalam reaktor kaca SK0, RS0, dan S/R0 sebagai reaktor kontrol sampah organik *biodegradable* dengan komposisi 100% sampah organik. Hasil analisis karakteristik awal sampah organik *biodegradable* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Karakteristik Awal Sampah Organik *Biodegradable*

Parameter	Satuan	Sampah Kebun (SK0)	Rumen Sapi Lokal (RS0)	Sampah Kebun+Rumen Sapi Lokal (S/R0)
Suhu	°C	35.0	35.0	35.5
Kadar Air	%	54.0	57.5	62.5
pH	-	5.4	5.2	4.9
N-Nitrat	%	0.0212	0.0209	0.0119
N-Nitrit	%	0.00023	0.00061	0.00066
TKN	%	1.994	1.669	1.894
N-Total	%	2.015	1.690	1.907
C-Organik	%	42.55	38	22.86
Rasio C/N	-	21.12	22.48	11.99

Parameter	Satuan	Sampah Kebun (SK0)	Rumen Sapi Lokal (RS0)	Sampah Kebun+Rumen Sapi Lokal (S/R0)
Total Populasi Bakteri	CFU/gr	6.52.E+10	5.13.E+10	1.76.E+10
Volume Udara dalam Tanah	L/menit	0.71	1.21	0.75
Hidrokarbon	%	0.13	0.08	0.34

Pada Tabel 4.3, ketiga jenis sampah organik memiliki kondisi kadar air yang berbeda. Kadar air pada reaktor S/R0 (campuran sampah kebun dan rumen sapi) lebih tinggi daripada kadar air pada reaktor SK0 (sampah kebun) dan RS0 (rumen sapi) yaitu sebesar 62,5%. Kondisi kadar air pada ketiga reaktor kontrol sampah dikondisikan berada pada kisaran nilai kadar air ideal pada pengomposan yaitu (50-60)% (Bernal *et al.*, 2009). Perbedaan kadar air pada ketiga jenis sampah organik dapat diakibatkan oleh perbedaan penambahan air yang dapat berlebih atau kurang.

Perbedaan kondisi sampah organik juga dapat dilihat dari nilai pH, dimana campuran sampah kebun dan rumen sapi memiliki pH lebih rendah yaitu 4,9 dibandingkan sampah kebun yaitu 5,4 dan rumen sapi sebesar 5,2. Nilai pH ketiga jenis sampah organik tergolong asam dan tidak memenuhi nilai pH ideal pada pengomposan yaitu 6,7-9 (Baldan *et al.*, 2009). Nilai pH asam dapat menghambat aktivitas mikroorganisme dalam pengomposan (Bernal *et al.*, 2015). Nilai pH asam pada ketiga jenis sampah organik dapat diakibatkan oleh tingginya kadar C-organik pada ketiga jenis sampah sehingga cenderung terbentuk asam-asam organik dari penguraian karbon. Rasio C/N yang paling besar adalah pada rumen sapi yaitu 22,48, sedangkan pada sampah kebun 21,12 dan 11,99 pada campuran keduanya. Hasil analisis nilai rasio C/N pada campuran sampah kebun dan rumen sapi tidak terlalu jauh dengan hasil perhitungan rasio C/N secara teoritis yang telah dijelaskan pada Bab 3 yaitu sebesar 26,52. Rasio C/N ketiga sampah organik berada di bawah kriteria

rasio C/N untuk pengomposan. Tchobagnoglous *et al.* (1993), menyatakan bahwa kriteria rasio C/N kompos berkisar 25-50. Kadar hidrokarbon pada ketiga sampah organik tergolong kecil dan perbedaannya tidak terlalu jauh. Adanya hidrokarbon dalam sampah organik dapat disebabkan oleh adanya deposisi hidrokarbon dari tanah ke udara, tanah tempat tanaman tersebut tumbuh sebelumnya mengandung minyak, dan adanya biomagnifikasi.

4.3 Proses Komposting

Pada penelitian ini ketiga sampel tanah tercemar *crude oil* dikompositkan dahulu sebelum dimasukkan ke dalam reaktor. Pengkompositan sampel dilakukan untuk menggambarkan konsentrasi rata-rata suatu zat atau substansi dalam lapisan tanah dan memudahkan pada pengaplikasian untuk remediasi lahan terkontaminasi hidrokarbon (Margesin dan Schinner, 2005).

Bahan baku *co-composting* pada penelitian ini dimasukkan ke dalam reaktor kaca. Masing-masing reaktor diisi bahan kompos seberat 1 kg dengan variasi komposisi tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik *biodegradable* yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 pada Bab 3. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap parameter suhu, pH, kadar air, N-nitrat, N-nitrit, TKN, N-total, C-organik, rasio C/N, kadar hidrokarbon, total populasi bakteri, dan volume udara dalam reaktor. Karakteristik awal sebelum proses *co-composting* pada tiap reaktor dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Pada Tabel 4.4 di bawah, kondisi suhu pada setiap reaktor kompos berada dalam kisaran suhu mesofilik (25-45°C) dan suhu dalam reaktor tidak terlalu jauh daripada suhu ruang yaitu 34°C. Kadar air dalam setiap reaktor kompos dikondisikan pada kisaran 50%-60% agar *co-composting* berjalan optimum. pH awal di setiap reaktor nilainya berkisar antara 5-5,4. Nilai pH tersebut tergolong asam dan tidak berada pada kisaran pH optimum pengomposan yaitu 5,5-8 (Miller, 1992). Nilai pH awal bahan kompos yang asam dapat diakibatkan oleh tingginya kadar C-organik dalam bahan kompos sehingga banyak terbentuk asam-asam organik hasil penguraian C-organik dalam tanah.

Kadar C-organik pada awal pengomposan di semua reaktor tergolong tinggi karena proses pengomposan belum

berjalan dan C-organik masih belum digunakan bakteri sebagai sumber energi. Pada seluruh reaktor kompos, kadar N-nitrit selalu lebih kecil daripada N-nitrat karena N-nitrit sifatnya tidak stabil. Pada seluruh reaktor, TKN kadarnya lebih besar daripada N-nitrat karena pada awal pengomposan nitrifikasi masih belum terjadi dan sebagian besar N masih dalam bentuk N-organik atau amonium. Nilai rasio C/N di semua reaktor pada awal pengomposan tergolong tinggi dan hampir di semua reaktor berada pada kisaran rasio C/N 25-50 yaitu rasio C/N yang optimum dalam pengomposan (Tchobagnoglous *et al.*, 1993). Hal ini karena komposisi campuran tanah tercemar dan sampah organik tidak berdasarkan hasil perhitungan rasio C/N secara teoritis, namun berdasarkan pada variasi komposisi tanah dan sampah organik yang diinginkan. Variasi komposisi tanah tercemar dan sampah organik untuk semua reaktor dapat dilihat pada Tabel 3.3 pada Bab 3.

Nilai C-organik dan N-total dan yang cenderung tidak membentuk tren sesuai pencampuran komposisi tanah dan bahan organik yang ditambahkan dapat mengakibatkan nilai rasio C/N juga tidak sesuai dengan hasil pencampuran secara teoritis. Hal ini diakibatkan campuran bahan kompos berupa tanah dan sampah organik sebagai zat padat yang dilarutkan ke dalam air saat analisis bagaimanapun cara mengocoknya larutan tersebut tidak akan jernih melainkan tetap keruh dan sulit atau bahkan tidak bisa homogen. Campuran ini merupakan campuran heterogen atau disebut sistem dispersi. Campuran dispersi kasar (suspensi) adalah bersifat heterogen, semua atau salah satu dimensi partikel lebih dari 100 nm, terdiri atas dua fase, tidak stabil, dan dapat disaring (Margaret, 2008). Oleh karena itu, dalam analisis tidak semua C-organik dan N-total terukur sempurna sehingga hasil analisis kurang sesuai dengan hasil perhitungan secara teoritis.

Kadar hidrokarbon di awal *co-composting* pada reaktor uji lebih rendah daripada pada reaktor kontrol 100% tanah tercemar. Hal ini karena perbedaan jumlah tanah tercemar yang ditambahkan pada masing-masing reaktor uji. Semakin besar komposisi tanah tercemar *crude oil* yang ditambahkan pada reaktor uji, maka semakin besar pula kadar hidrokarbonnya. Namun, pada reaktor uji berbahan sampah organik rumen sapi

kadar hidrokarbon melebihi besarnya kadar hidrokarbon pada reaktor kontrol T100. Pada RS50 kadar hidrokarbon melebihi reaktor kontrol tanah 100%. Hal ini dikarenakan sampah rumen sapi lokal memiliki berat yang lebih ringan jika dibandingkan sampah kebun dan tanah tercemar. Sampah rumen sapi dengan berat 1 kg lebih banyak dibandingkan dengan sampah kebun dan tanah tercemar 1 kg. Total populasi bakteri dalam setiap reaktor kompos berkisar pada $4,26 \times 10^7$ CFU/g – $1,12 \times 10^{12}$ CFU/g. Total populasi bakteri paling kecil adalah pada reaktor kontrol tanah 100% dan total populasi bakteri tertinggi adalah pada reaktor S/R87 dengan komposisi 87,5% tanah tercemar dan 12,5% sampah organik. Volume udara dalam masing-masing reaktor pada awal *co-composting* berkisar pada 8,17% - 21,02%. Volume udara dalam setiap reaktor sudah memenuhi kebutuhan udara optimum pada pengomposan aerobik yaitu antara 15%-20% (Miller,1992).

Tabel 4.4 Karakteristik Awal tiap Reaktor Sebelum Co-composting

Kode Reaktor	Suhu	Kadar Air	pH	N-Nitrat	N-Nitrit	TKN	N-Total	C-Organik	Rasio C/N	Hidrokarbon	Total Populasi Bakteri	Volume Udara dalam Reaktor
	°C	%	-	%	%	%	%	%	-	%	CFU/g	L/menit
T100	33.0	60.0	5.0	0.0042	0.00010	0.595	0.599	14	23.37	6.05	4.26.E+07	0.49
SK0	35.0	54.0	5.4	0.0212	0.00023	1.994	2.015	43	21.12	0.13	6.52.E+10	0.71
RS0	35.0	57.5	5.2	0.0209	0.00061	1.669	1.690	38	22.48	0.08	5.13.E+10	1.21
S/R 0	35.5	62.5	5.0	0.0119	0.00066	1.894	1.907	23	11.99	0.34	1.76.E+10	0.75
SK50	33.5	55.0	5.3	0.0165	0.00010	1.172	1.189	35	29.61	5.40	1.16.E+11	0.66
SK75	33.5	58.5	5.1	0.0077	0.00006	1.479	1.487	24	16.14	4.73	5.63.E+10	0.65
SK87	34.0	54.0	5.4	0.0111	0.00004	0.586	0.597	29	47.87	5.00	3.11.E+11	0.57
RS50	35.0	56.0	5.2	0.0206	0.00044	1.154	1.175	15	12.66	7.48	1.48.E+10	1.26
RS75	33.5	56.5	5.3	0.0088	0.00031	1.425	1.434	21	14.88	5.16	1.34.E+10	1.25
RS87	33.0	59.0	5.1	0.0100	0.00023	0.622	0.632	16	25.31	5.02	9.12.E+09	0.63
S/R 50	34.5	59.0	5.1	0.0124	0.00029	0.685	0.698	24	34.40	4.16	3.03.E+10	1.23
S/R 75	34.0	53.5	5.4	0.0082	0.00014	0.730	0.738	22	30.23	4.88	1.62.E+10	0.66
S/R 87	33.0	57.5	5.2	0.0101	0.00007	0.965	0.975	30	30.53	5.04	1.12.E+12	1.22

Keterangan:

SK50	50% tanah : 50% sampah kebun	RS50	50% tanah : 50% rumen sapi lokal
SK75	75% tanah : 25% sampah kebun	RS75	75% tanah : 25% rumen sapi lokal
SK87	87,5% tanah : 12,5% sampah kebun	RS87	87,5% tanah : 12,5% rumen sapi lokal
S/R50	50% tanah : 50% (sampah kebun+rumen sapi lokal)		
S/R75	75% tanah : 25% (sampah kebun+rumen sapi lokal)		
S/R87	87,5% tanah : 12,5% (sampah kebun+rumen sapi lokal)		

4.4 Hasil Analisis Kondisi selama *Co-composting*

4.4.1 Perubahan Suhu

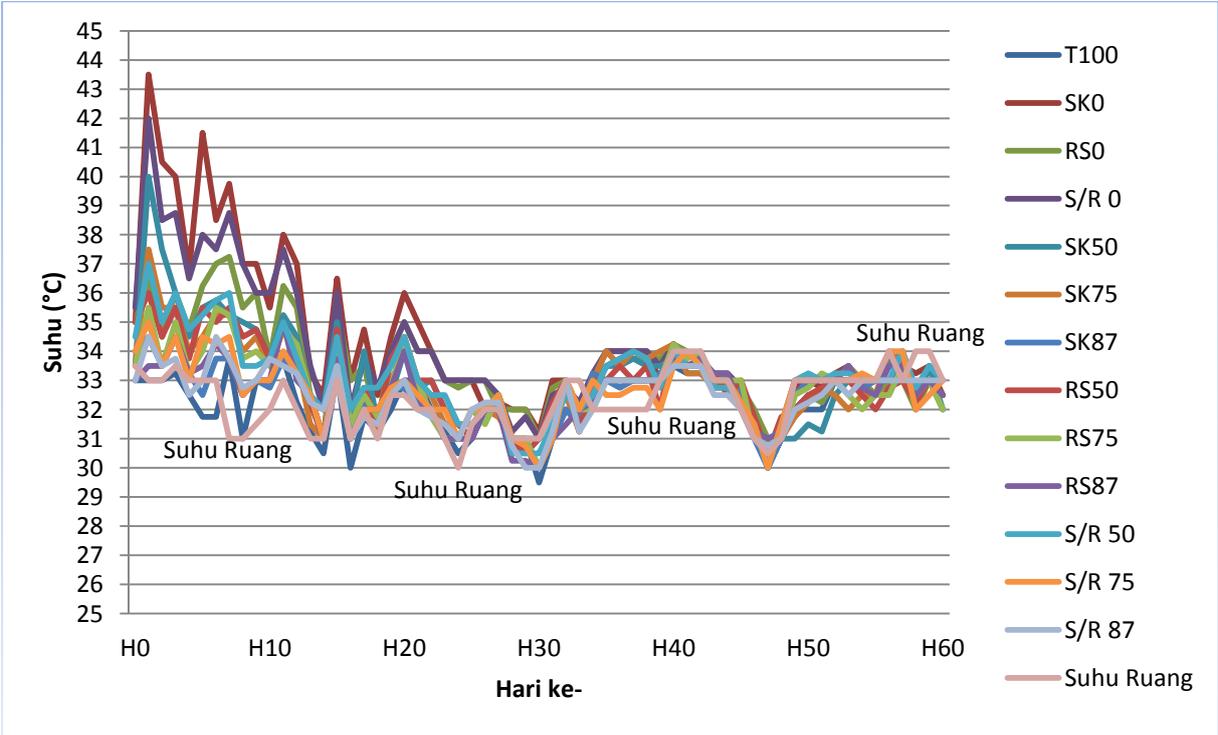
Parameter suhu dianalisis karena suhu merupakan faktor penting dalam pengomposan terkait sebagai indikator aktivitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik. Parameter suhu dianalisis setiap hari selama 60 hari *co-composting*. Suhu yang diukur adalah suhu di dalam masing-masing reaktor dan suhu ruang. Suhu diukur pada siang hari sekitar pukul 12.00-13.00 wib agar suhu dalam reaktor stabil dan menghindari pengaruh suhu ruang pada pagi atau malam hari yang relatif lebih dingin. Pola perubahan suhu selama *co-composting* hampir sama dengan suhu ruang. Hal ini menandakan bahwa suhu lingkungan memiliki pengaruh besar terhadap perubahan suhu yang terjadi dalam reaktor (Sari *et al.*, 2015). Perubahan suhu selama *co-composting* sangat fluktuatif. Hal ini karena suhu dalam reaktor dipengaruhi langsung oleh suhu ruang yang lebih rendah saat kondisi hujan. Hasil pengukuran suhu selama 60 hari *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Suhu pada awal *co-composting* berkisar antara 33-35°C. Suhu awal *co-composting* yang paling tinggi adalah suhu pada reaktor kontrol S/R0 yaitu 100% campuran sampah kebun dan rumen sapi sebesar 35,5°C. Hal ini karena pada reaktor kontrol campuran sampah kebun dan rumen sapi ada penambahan jumlah mikroba dari kedua jenis sampah organik sehingga aktivitas mikroba lebih besar dan panas yang dihasilkan lebih besar. Suhu yang paling rendah berada di bawah suhu ruang adalah pada reaktor T100, RS87, dan S/R87 yaitu sebesar 33°C. Perbedaan suhu pada awal *co-composting* juga dipengaruhi oleh volume dan tinggi tumpukan bahan kompos dalam reaktor. Hal ini berdasarkan adanya kemampuan bahan kompos dalam menahan panas agar tidak terlepas ke udara (Fitri *et al.*, 2012). Bahan kompos dengan volume yang lebih besar memiliki suhu lebih panas daripada bahan kompos dengan volume yang kecil. Pada reaktor S/R0 volume bahan kompos penuh dalam satu reaktor sedangkan pada reaktor T100, RS87, dan S/R87 volume bahan kompos hanya mencapai setengah volume reaktor. Tumpukan bahan kompos yang tipis tidak mampu menahan atau mengisolasi panas yang dihasilkan sehingga kalor yang

dihasilkan dari proses aktivitas mikroba dapat langsung mengalir keluar (Erickson *et al.*, 2003).

Pada Gambar 4.1 dijelaskan pada 10 hari pertama *co-composting*, suhu reaktor cenderung mengalami kenaikan. Suhu reaktor naik dari hari pertama sampai hari ke-6 lalu turun pada hari ke 7 dan naik lagi sampai hari ke-10. Suhu reaktor mengalami penurunan setelah hari ke-20 dan sampai hari ke-60 cenderung stabil mengikuti pola suhu ruang.

Pada hari ke-2 terjadi kenaikan suhu optimum pada reaktor. Pada reaktor dengan komposisi tanah tercemar *crude oil* dan sampah kebun mengalami kenaikan suhu tertinggi. Reaktor kontrol 100% sampah kebun mengalami kenaikan suhu terbesar yaitu 43,5°C. Reaktor SK50 mengalami kenaikan suhu terbesar di antara reaktor dengan campuran tanah tercemar *crude oil* dan sampah kebun lainnya yaitu sebesar 40°C. Pada reaktor campuran tanah tercemar *crude oil* dan rumen sapi lokal suhu yang paling tinggi adalah suhu pada reaktor RS50 yang berisi tanah dan rumen sapi (50:50) yaitu 37,5°C. Pada reaktor campuran tanah tercemar *crude oil* dan campuran kedua bahan sampah organik (50:50) yang mengalami kenaikan paling besar yaitu reaktor S/R50 sebesar 37°C. Peningkatan suhu yang terjadi pada awal pengomposan adalah indikasi terjadinya peningkatan aktifitas dan jumlah populasi mikroorganisme (Atagana, 2008) juga terjadinya dekomposisi bahan organik yang menghasilkan energi panas, CO₂, dan uap air oleh mikroorganisme (Guo *et al.*, 2012). Panas yang ditimbulkan akan tersimpan dalam tumpukan, sementara bagian permukaan terjadi penguapan. Panas yang terperangkap dalam tumpukan akan menaikkan suhu tumpukan. Setelah mencapai suhu puncak, suhu tumpukan mengalami penurunan yang akan stabil sampai proses pengomposan berakhir.



Gambar 4.1 Perubahan Kondisi Suhu selama *Co-composting*

Pada 10 hari pertama kondisi suhu fluktuatif setelah mengalami kenaikan mulai hari kedua hingga mengalami penurunan lagi pada hari ke-10. Pada hari ke-10 sampai hari ke-60 *co-composting*. Perubahan nilai suhu menunjukkan aktifitas mikroba dan jenis proses pada komposting (Bernal *et al.*, 2009). Kondisi suhu pada awal hingga akhir pengomposan suhu optimum hanya mencapai 43,5°C yakni hari kedua pada reaktor SK0. Suhu dalam reaktor kompos rata-rata berada di atas suhu ruang. Volume bahan kompos yang lebih besar cenderung memiliki suhu lebih panas jika dibandingkan dengan reaktor dengan volume bahan kompos lebih kecil. Pengadukan manual juga dipilih untuk menjaga suhu dalam reaktor agar lebih besar dari suhu ruang sehingga *co-composting* dapat berjalan optimum. menurut Sinaga dan Trihadiningrum (2015), adanya aerasi dengan udara lembab yang diinjeksi ke dalam bahan kompos dalam reaktor kompos skala laboratorium membuat suhu dalam reaktor cenderung lebih rendah daripada suhu ruang sehingga *co-composting* kurang optimum.

Suhu reaktor terus berfluktuasi berada pada kisaran suhu 32-42°C. Pada penelitian ini, kisaran suhu selama *co-composting* pada reaktor berada pada suhu mesofilik 25-45°C. Pada fase ini terdapat jenis bakteri yang ditemukan yakni bakteri mesofilik (Michael, 2003). *Co-composting* juga dilakukan secara aerobik sehingga bakteri yang terdapat dalam bahan kompos adalah bakteri aerob. Menurut Van Gestel *et al.* (2003), bakteri yang berperan dalam penyisihan hidrokarbon dalam *co-composting* adalah diantaranya *Acinetobacter* dan *Rhodococcus*, sedangkan jamur yang berperan dalam penyisihan hidrokarbon adalah *Gliocladium* dan *Trichoderma*. Menurut Trihadiningrum (2012), mikroorganisme yang dapat menguraikan senyawa hidrokarbon secara aerob adalah bakteri aerobyang jumlahnya tidak terlalu banyak, diantaranya adalah *Pseudomonas fluorescens*, *P. oleovorans*, *Acinobacter calcoaceticus*, *Candida lipolytica*, *Arthrobacter paraffineus*, dan *Corybacterium glutamicum*.

Beaudin *et al.* (1996) mengatakan bahwa hidrokarbon dapat disisihkan dengan metode *co-composting* pada suhu yang sama dengan atau tidak jauh berbeda dengan suhu ruang. Tingkat penyisihan tertinggi hidrokarbon pada *co-composting* dicapai pada suhu termofilik. Menurut Van Gestel *et al.* (2003),

hidrokarbon terdegradasi sangat cepat pada suhu 50°C (termofilik) selama 30 hari *co-composting* daripada pada suhu 23°C (suhu mesofilik). Pada suhu termofilik, berkurangnya hidrokarbon bukan hanya karena terdegradasi, namun juga karena terjadi volatilisasi atau adsorpsi yang dapat diketahui dengan timbulnya bau. Namun pada penelitian ini, *co-composting* dalam penyisihan hidrokarbon terjadi pada suhu mesofilik, sehingga proses penyisihan hidrokarbon berjalan sedikit lambat.

Temperatur kompos yang cenderung sama ini karena tumpukan ketebalan bahan kompos sangat rendah sehingga temperatur tidak mencapai tahap termofilik (40-65°C) yang merupakan suhu optimum pengomposan aerobik (Bernal *et al.*, 2009), karena tinggi tumpukan merupakan salah satu faktor yang menentukan temperatur pengomposan. Tumpukan bahan yang terlalu rendah akan mengakibatkan cepatnya kehilangan panas karena tidak cukupnya material untuk menahan panas yang dilepaskan, sehingga mikroorganisme tidak dapat berkembang secara optimal. Sebaliknya jika tumpukan terlalu tinggi, akan terjadi kepadatan bahan yang diakibatkan oleh berat bahan sehingga suhu menjadi sangat tinggi dan tidak ada udara di dalam tumpukan (Fitri *et al.*, 2012).

Kebutuhan oksigen yang cukup bagi mikroorganisme untuk beraktifitas, menguraikan substrat, dan menghasilkan panas dikondisikan dengan cara melakukan pengadukan pada reaktor setiap tiga hari sekali.

Pada akhir *co-composting* suhu cenderung mengalami penurunan. Pada hari ke 30, suhu pada reaktor T100 berada di bawah suhu ruang yaitu 29,5°C. Pada reaktor yang lain suhunya mulai stabil dan hampir mendekati suhu ruang. Penurunan suhu pada akhir *co-composting* menandakan bahan organik yang terdegradasi berkurang dan terjadinya perubahan fisik pada bahan kompos (Guo *et al.*, 2012). Bahan kompos mengalami penyusutan menjadi semakin rapuh sehingga ukurannya menjadi lebih kecil dan ringan karena terjadi pelepasan CO₂ dan air sehingga panas yang terbentuk lebih mudah terlepas (Sari *et al.*, 2015). Suhu kompos yang telah stabil menandakan degradasi bahan organik oleh mikroorganisme telah selesai (Bernal *et al.*, 2009). Rendahnya suhu dalam reaktor hingga berada di bawah suhu ruang dapat disebabkan volume reaktor yang sangat kecil

sehingga bahan kompos sulit menahan panas yang dihasilkan oleh mikroorganisme sehingga tidak dicapai kondisi termofilik (40-65°C) yang merupakan suhu optimum dalam pengomposan (Bernal *et al.*, 2009).

Pada *co-composting* ini, selain reaktor kontrol sampah organik yaitu SK0, reaktor SK50 mengalami peningkatan suhu yang cepat pada hari kedua meningkat hingga 40°C menandakan *co-composting* berjalan efektif karena panas yang dihasilkan lebih besar dan lebih cepat daripada reaktor yang lain.

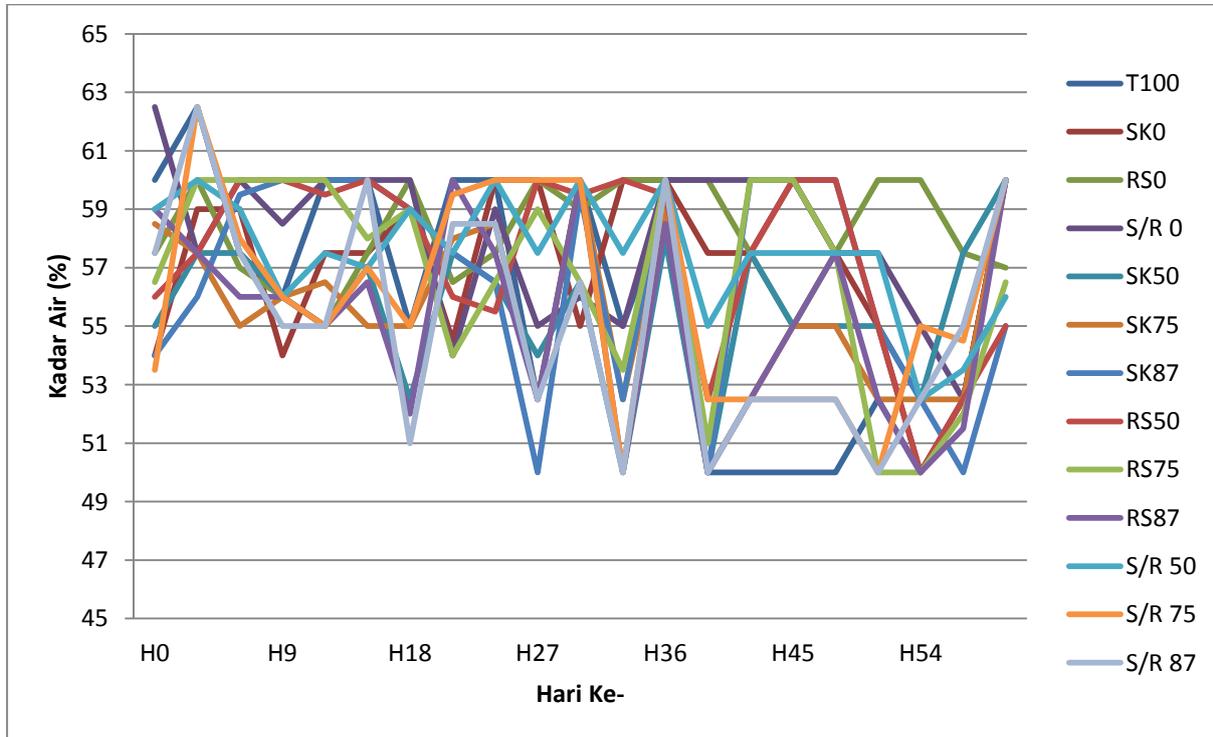
4.4.2 Perubahan Kadar Air

Parameter kadar air dianalisis untuk menentukan keefektifan bahan kompos ketika dicampur saat digunakan sebagai bahan *co-composting*. Kadar air diukur setiap tiga hari sekali dengan menggunakan alat ukur kadar air Soil Tester Takamura 350. Kadar air pada reaktor selama *co-composting* dikontrol untuk memastikan proses berjalan secara optimum. Kadar air dikondisikan berada pada rentang 50%-60% selama *co-composting* (Gajalakshmi dan Abbasi, 2008).

Pada awal *co-composting*, kadar air di dalam reaktor dikondisikan dan berkisar antara 54%-62,5%. Kadar air pada masing-masing reaktor tersebut telah dikondisikan setiap tiga hari sekali dengan dilakukan penambahan air untuk bahan kompos dengan kadar air <50% dan pengeringan bahan kompos di bawah sinar matahari untuk bahan kompos dengan kadar air >60%. Pengadukan juga dilakukan saat penambahan air atau pengeringan bahan kompos agar kadar air dalam reaktor rata. Apabila kadar air kompos di bawah 40% dapat mengakibatkan pengomposan berjalan lambat (Tchobagnoglous *et al.*, 1993). Apabila kadar air kompos melebihi 60% maka pergerakan oksigen terganggu dan menyebabkan proses berubah menjadi anaerobik (Gajalakshmi dan Abbasi, 2008).

Pada pengukuran kadar air yang dilakukan setiap tiga hari sekali, kadar air selalu mengalami penurunan dari kondisi awal setelah pengaturan. Penurunan kadar air disebabkan oleh penguapan uap air akibat peningkatan suhu dari panas yang dihasilkan pada proses metabolisme mikroorganisme (Nolan *et al.*, 2011) sementara tidak ada supply udara secara berkala pada reaktor. Hasil analisis kadar air sampai 60 hari proses *co-*

composting dapat dilihat pada Gambar 4.2. Kondisi kadar air pada reaktor uji dan reaktor kontrol tidak jauh berbeda yaitu berada pada kisaran 50%-60%. Terdapat perbedaan nilai kadar air pada setiap reaktor. perbedaan kadar air ini karena terlalu banyak atau terlalu sedikit dalam penambahan air dan kurang ratanya pengadukan.



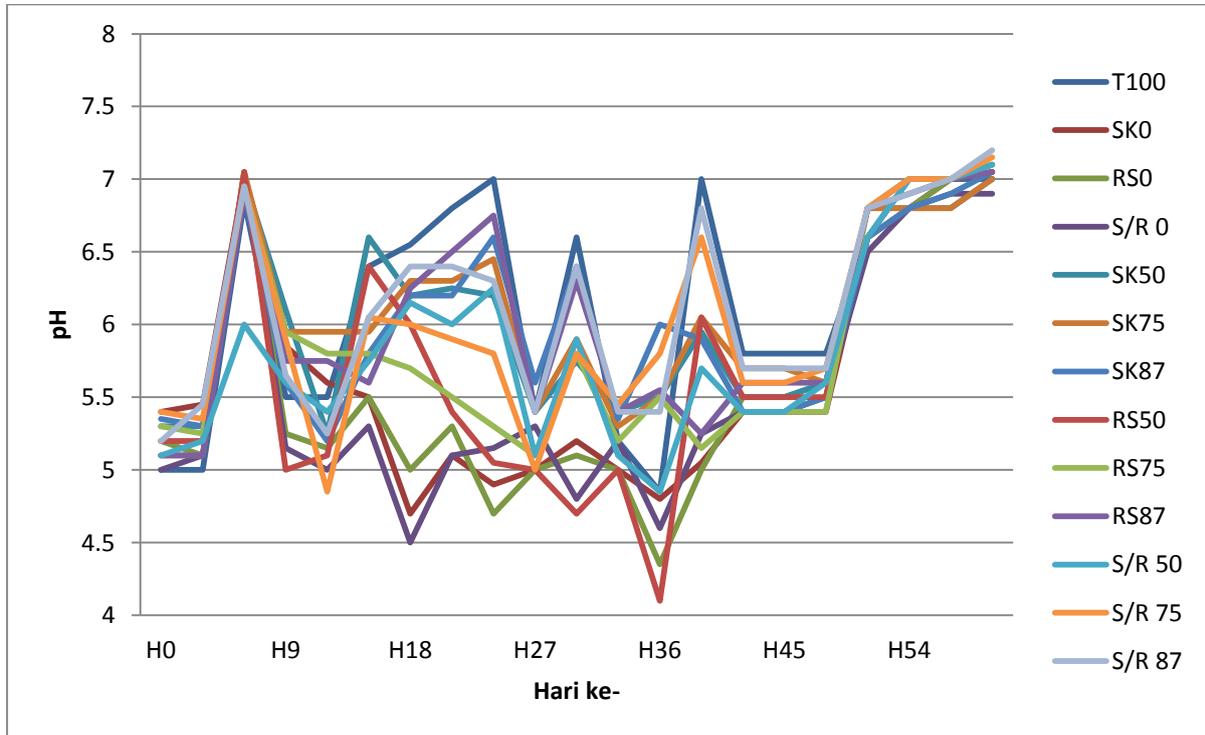
Gambar 4.2 Perubahan Kondisi Kadar Air selama *Co-composting*

4.4.3 Perubahan pH

Pengukuran pH dilakukan setiap tiga hari sekali dengan menggunakan alat ukur pH tanah Soil Tester Takamura DM-15. Pengukuran nilai pH dilakukan untuk memastikan bahwa *co-composting* berjalan optimum. Pada kisaran pH 5,5-8 bagus untuk aktifitas mikroba selama *co-composting* dan merupakan pH optimum dalam pengomposan (Miller, 1992). Fluktuasi nilai pH selama *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Pada Gambar 4.3, pada awal proses *co-composting*, pH di dalam reaktor berkisar antara 5-5,4. Nilai pH tersebut tergolong asam dan tidak berada pada kisaran pH optimum untuk pengomposan. Nilai pH asam tersebut disebabkan oleh tingginya kadar karbon pada bahan kompos sehingga banyak terbentuk asam-asam organik. Namun pada hari ke-6 *co-composting*, nilai pH mengalami kenaikan mencapai kisaran pH netral yaitu 6-7,05. Reaktor yang mengalami kenaikan pH tertinggi yaitu sampai 7,05 adalah reaktor RS0, SK75, dan RS50. Peningkatan nilai pH menandakan adanya peningkatan aktifitas mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik serta menunjukkan bahwa perombakan bahan organik senyawa karbon menjadi asam organik tidak lagi menjadi proses yang dominan dan telah terjadi pembentukan senyawa ammonium yang dapat meningkatkan nilai pH (Ismayana *et al.*, 2012). Mineralisasi nitrogen menjadi nitrat/nitrit juga dapat menaikkan nilai pH. Sebagai contoh pada reaktor RS50, terjadi kenaikan nilai pH dari hari ke-0, 20, 40, dan sampai hari ke-60 *co-composting* yaitu 5,2; 5,4; 6,1; dan 7. Kenaikan nilai pH tersebut juga diikuti dengan kenaikan kadar N-total pada reaktor RS50 yaitu 1,175%; 1,653%; 1,655%; dan 3,044%.

Setelah mengalami kenaikan pada hari ke-6, nilai pH mengalami penurunan pada hari ke-9 penurunan nilai pH yang teridentifikasi pada hari ke-9 pada tahap awal *co-composting* disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan asam organik dan menguapnya sebagian amonia karena peningkatan suhu. Sebagai contoh adalah penurunan pH pada reaktor RS75 dari hari ke-20 sampai hari ke-40 yaitu 5,5 menjadi 5,2 yang diikuti penurunan kadar N-total yaitu 0,978% menjadi 0,709%.



Gambar 4.3 Perubahan Kondisi pH selama *Co-composting*

Pada umur *co-composting* selama 60 hari, menunjukkan hasil bahwa semua reaktor memiliki rentang nilai pH netral yaitu pada kisaran 6,8-7. Hal ini diakibatkan oleh dihasilkannya CO₂ dan air dari metabolisme mikroorganisme yang reaksi keduanya membentuk senyawa bikarbonat (H₂CO₃). Senyawa bikarbonat memiliki daya sangga pH atau *buffer capacity* (Sari *et al.*, 2015). Semua reaktor memenuhi syarat kematangan kompos berdasarkan SNI 19-7030-2004 kematangan kompos jika ditinjau dari parameter pH harus terletak pada rentang 6,8 – 7,49.

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini, nilai pH dipengaruhi oleh aktivitas mikroorganisme dan peningkatan suhu. Semua reaktor memenuhi syarat nilai pH kematangan kompos menurut SNI 19-7030-2004 walaupun nilai pH mengalami peningkatan dan penurunan yang fluktuatif. Perubahan pH terjadi karena dekomposisi material organik menghasilkan senyawa amonia dan asam organik. senyawa amonia menyebabkan nilai pH naik, sedangkan asam organik menyebabkan nilai pH turun.

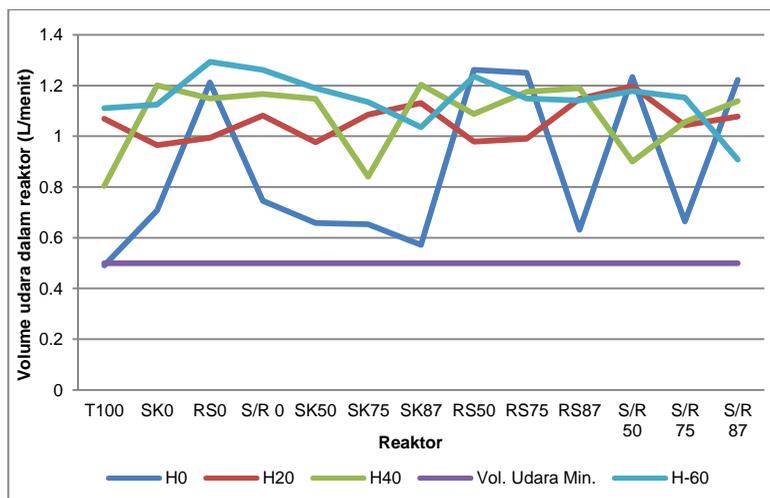
4.4.4 Kontrol Kondisi Aerobik

Metode *co-composting* dalam penyisihan hidrokarbon dalam tanah tercemar *crude oil* dilakukan dalam kondisi aerobik. Kontrol kondisi aerobik dilakukan dengan mengukur volume udara dalam reaktor. volume udara dalam reaktor dianalisis menggunakan metode ASTM D2216-80 dan ASTM D854-90 atau SNI 03 1965-1990 dan SNI 03 1964-1990 yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Teknik Sipil, FTSP-ITS. Pada pengukuran volume udara dalam reaktor dilakukan dengan pengujian berat volume dan spesifik gravity pada sampel bahan kompos setiap 20 hari sekali. Volume udara dalam bahan kompos didapatkan dari pengurangan volume total bahan kompos dengan volume butir dan volume air.

Pengontrolan kondisi aerobik pada reaktor dilakukan dengan pengadukan manual setiap 3 hari sekali. Setiap pengadukan manual dilakukan, selalu diikuti dengan pengukuran pH dan pengkondisian kadar air kompos (Agarry *et al.*, 2010). Hal ini disebabkan karena kadar air optimum pada komposting adalah sebesar 50-60% (Gajalakshmi dan Abbasi, 2008). Apabila kadar air kompos melebihi 60% maka pergerakan O₂ terganggu dan menyebabkan proses aerobik berubah menjadi anaerobik. Aerasi

yang benar dapat mengontrol suhu, mengurangi kelembapan dan jumlah CO₂ yang berlebih, dan menyediakan O₂ untuk proses biologis (Bernal *et al.*, 2009). Konsentrasi O₂ yang optimal adalah antara 15% dan 20% (Miller, 1992). Pengontrolan aerasi harus dapat memelihara temperatur kompos di bawah 60-65°C yang menjamin ketersediaan O₂ yang cukup. Kontrol kondisi aerobik pada seluruh reaktor selama *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa volume udara pada seluruh reaktor kompos berada pada kisaran (0,49-1,26) L/menit pada awal *co-composting*. Pada hari ke-20 volume udara dalam reaktor berkisar (0,97-1,20) L/menit. Pada hari ke-40, volume udara berada pada kisaran (0,8-1,20) L/menit. Sedangkan pada hari ke-60, volume udara berada pada kisaran (0,91-1,29) L/menit. Berdasarkan perhitungan kebutuhan udara minimum untuk pengomposan aerobik yaitu sebesar 0,5 L/menit (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Volume udara dalam reaktor kompos sudah memenuhi syarat kebutuhan udara minimum pengomposan sehingga kebutuhan udara untuk penguraian zat organik tercukupi.



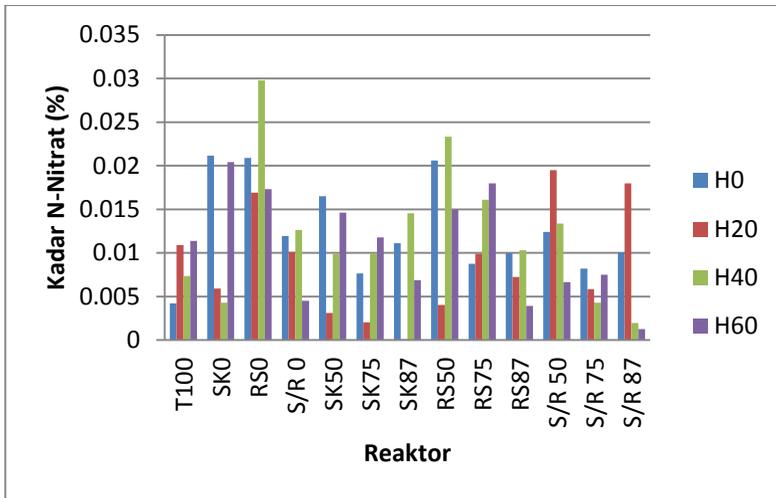
Gambar 4.4 Kondisi Volume Udara dalam Reaktor selama *Co-composting* (L/menit)

Volume udara dengan satuan persen pada seluruh reaktor kompos berada pada kisaran (8,17-21,02) % pada awal co-composting. Pada hari ke-20 volume udara dalam reaktor berkisar (16,09-19,94) %. Pada hari ke-40, volume udara berada pada kisaran (13,4-20,04) %. Sedangkan pada hari ke-60, volume udara berada pada kisaran (15,14-21,55) %. Berdasarkan Miller (1992), Konsentrasi O_2 yang optimum pada pengomposan adalah antara 15% dan 20%. Volume udara dalam reaktor kompos sudah memenuhi syarat kebutuhan udara yang optimum untuk pengomposan sehingga kebutuhan udara untuk penguraian zat organik tercukupi.

4.4.5 Perubahan N-Nitrat (NO_3^-)

Kadar nitrogen dalam nitrat diukur untuk mendapatkan nilai N-total. N-total didapatkan dengan menjumlahkan nilai TKN dengan N-anorganik (N-nitrat dan N-nitrit) berdasarkan hasil pengukuran. Analisis N-nitrat dilakukan setiap 20 hari sekali dengan metode spektrofotometri. Adanya nitrat adalah indikasi terjadinya proses nitrifikasi karena nitrat adalah produk akhir proses nitrifikasi. Reaksi nitrifikasi adalah reaksi perubahan ammonia (NH_4-N) dioksidasi menjadi nitrit (NO_2-N) oleh bakteri *Nitrosomonas* dan nitrit dioksidasi menjadi nitrat (NO_3-N) oleh bakteri *Nitrobacter* (Hanafi *et al.*, 2014). Nitrat merupakan hasil akhir mineralisasi protein yang dihasilkan dari ammonia kemudian berikatan dengan oksigen menghasilkan nitrit dan akan dibentuk menjadi nitrat (Mulyadi, 2008).

Nitrogen dalam nitrat merupakan sumber pembentukan sel. Semakin tinggi nilai nitrogen nitrat, maka akan semakin banyak sel mikroba yang terbentuk sehingga dapat mempercepat *co-composting*. Oleh karena itu nitrogen dalam nitrat tidak stabil. Hasil pengukuran nitrogen dalam bentuk N-nitrat dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Perubahan Kondisi N-Nitrat selama *Co-composting*

Pada Gambar 4.5 disajikan kandungan nitrat pada awal pengomposan berkisar antara 0,0042%-0,0212%. Kadar nitrat tertinggi adalah reaktor SK0 untuk reaktor kontrol sampah organik 100% sampah kebun dan reaktor RS50 (50% tanah tercemar : 50% rumen sapi) untuk reaktor uji. Pada hari ke-20 kadar nitrat pada reaktor uji dengan komposisi sampah kebun dan tanah mengalami penurunan. Pada reaktor uji dengan komposisi rumen sapi dan tanah ada yang mengalami penurunan (reaktor RS50, RS87) dan ada yang mengalami kenaikan yaitu reaktor RS75. Reaktor uji dengan komposisi campuran sampah kebun dan rumen sapi dengan tanah tercemar ada yang mengalami kenaikan (S/R50, S/R87) dan adapula yang mengalami penurunan yaitu reaktor S/R75. Pada hari ke-40, kadar nitrat mengalami laju perubahan yang berbeda pada masing-masing reaktor. Pada reaktor uji dengan komposisi tanah tercemar dan sampah kebun kadar nitrat mengalami kenaikan yaitu reaktor SK50, SK75, dan SK87. Pada reaktor uji dengan komposisi tanah tercemar dan rumen sapi juga mengalami kenaikan kadar nitrat yaitu pada reaktor RS50, RS75, dan RS87. Sedangkan reaktor uji dengan komposisi tanah tercemar dan campuran sampah kebun dan rumen sapi mengalami penurunan kadar nitrat, yaitu reaktor

S/R50, S/R75, dan S/R87. Pada reaktor kontrol tanah tercemar 100% (T100) dan 100% sampah kebun (SK0) juga mengalami penurunan kadar nitrat. Sedangkan pada reaktor kontrol 100% rumen sapi (reaktor RS0) dan 100% campuran sampah kebun dan rumen sapi kadar nitrat mengalami kenaikan. Pada akhir *co-composting* yaitu hari ke-60, kadar nitrat mengalami kenaikan pada reaktor kontrol T100 dan SK0, sedangkan reaktor uji yang mengalami kenaikan adalah SK50, SK75, RS75, dan S/R75. Kadar nitrat mengalami penurunan pada reaktor kontrol RS0 dan S/R0 reaktor uji yang mengalami penurunan adalah SK87, RS50, RS87, S/R50, dan S/R87.

Kadar nitrat dari hari ke-0 sampai hari ke-60 *co-composting* pada sebagian besar reaktor bersifat fluktuasi kecuali pada reaktor RS75 yaitu reaktor uji dengan komposisi 75% tanah tercemar crude oil : 25% campuran sampah kebun dan rumen sapi kadar nitrat terus mengalami kenaikan. Kadar nitrat mengalami fluktuasi karena adanya kehilangan nitrogen dalam bentuk amoniak yang sangat mudah menguap ke udara sehingga kadar nitrat menurun serta terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Saat nitrifikasi, bakteri mengubah amonium menjadi nitrat sehingga kadar nitrat mengalami peningkatan. Selain itu nitrat yang diserap oleh bakteri sebagai pembentuk sel tetap berada di dalam tubuh bakteri dan akan dilepaskan jika bakteri sudah mati. Sehingga kematian bakteri menyebabkan peningkatan nitrat. Nitrifikasi berlangsung pada kondisi aerobik yang menghasilkan nitrat. Nitrifikasi bisa berjalan oleh adanya konsentrasi amonium. Penurunan kadar nitrat pada beberapa reaktor karena aktivitas mikroorganisme untuk mengubah urea menjadi nitrat sudah menurun sebagian besar ammonia dilepaskan ke udara dalam bentuk gas. Proses denitrifikasi juga dapat menurunkan kadar nitrat dalam *co-composting* karena pada proses ini terjadi konversi dari N-nitrat menjadi N_2 dan N_2O .

4.4.6 Perubahan N-Nitrit (NO_2^-)

Analisis N-nitrit dilakukan untuk menghitung N-total. Analisis N-nitrit dilakukan setiap 20 hari sekali dengan metode spektrofotometri. N-nitrit merupakan senyawa yang tidak stabil karena terbentuk di pertengahan pada proses nitrifikasi dan denitrifikasi (Nolan *et al.*, 2011). Proses nitrifikasi terjadi pada

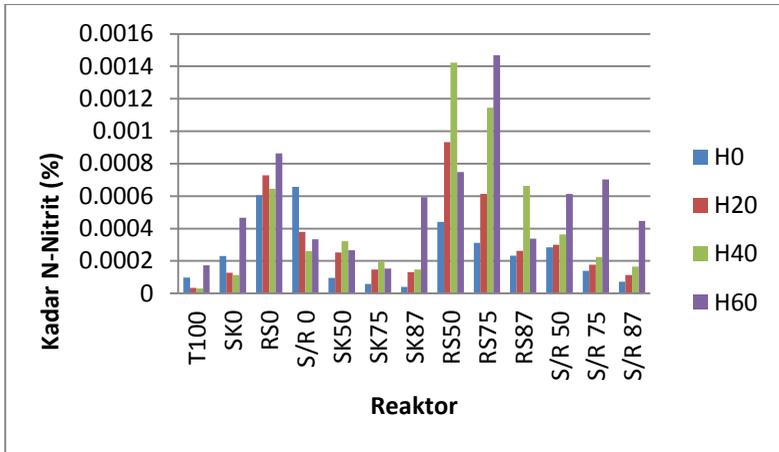
kondisi aerobik dimana terjadi perubahan amonium menjadi nitrit dan membentuk nitrat. Perubahan NH_4 membentuk NO_2 pada proses nitrifikasi diakibatkan oleh adanya bakteri *Nitrosomonas* (Salimin dan Rachmadetin, 2011). Kadar nitrit selama proses *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Pada awal *co-composting* kadar nitrit pada reaktor uji dan kontrol nilainya berkisar antara 0,00007%-0,00066%. Kadar nitrit terbesar pada reaktor kontrol adalah reaktor S/R0 yaitu reaktor dengan 100% campuran sampah kebun dan rumen sapi. Sedangkan pada reaktor uji, kadar nitrit terbesar adalah reaktor RS50 dengan komposisi 50% tanah tercemar crude oil dan 50% sampah organik berupa rumen sapi.

Pada hari ke-20 *co-composting* kadar nitrit pada seluruh reaktor uji mengalami kenaikan. Namun, pada reaktor kontrol kadar nitrit cenderung mengalami penurunan, hanya reaktor RS0 reaktor kontrol sampah organik yang berbahan 100% rumen sapi yang mengalami kenaikan. Pada hari ke-40 *co-composting*, kadar nitrit pada seluruh reaktor uji juga terus mengalami kenaikan, namun seluruh reaktor kontrol mengalami penurunan kadar nitrit. Pada hari ke-60 *co-composting*, kadar nitrit sebagian besar mengalami kenaikan kecuali pada reaktor SK50, SK75, RS50, dan RS87 kadar nitrit mengalami penurunan.

Kenaikan kadar nitrit terbesar pada reaktor uji dari hari ke-0 sampai hari ke-60 adalah reaktor RS75 dengan komposisi bahan kompos 75% tanah tercemar : 25% rumen sapi. Besar kenaikan kadar nitrit pada reaktor RS75 dari hari ke-0 sampai hari ke-20 adalah 0,0003% dan 0,00053% dari hari ke-0 sampai hari ke-40. Sedangkan dari hari ke-40 sampai hari ke-60 naik sebesar 0,00032%.

Kenaikan kadar nitrit yang terjadi pada seluruh reaktor uji dari hari ke-0 sampai akhir atau hari ke-60 *co-composting* karena adanya ketersediaan udara yang membantu bakteri *Nitrosomonas* melakukan proses nitrifikasi dengan mengoksidasi amonium menjadi nitrit.



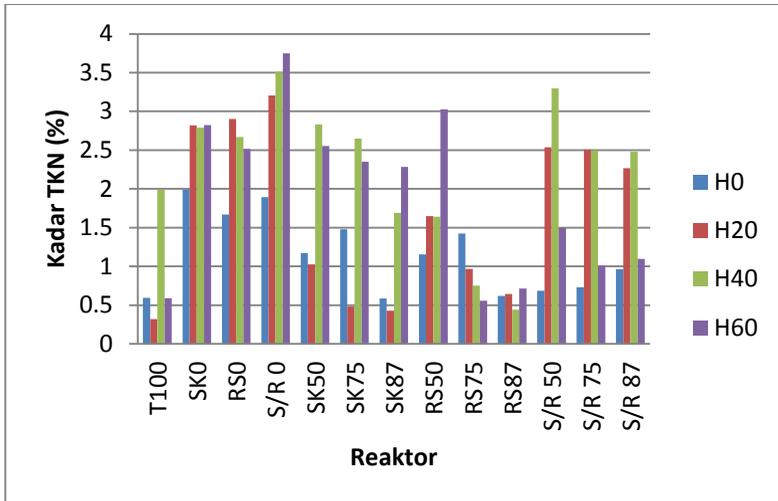
Gambar 4.6 Kondisi N-Nitrit selama *Co-composting*

Sedangkan penurunan kadar nitrit mengindikasikan sebagian nitrit yang terbentuk telah teroksidasi menjadi nitrat (Salimin dan Rachmadetin, 2011). Adanya fluktuasi kadar nitrit karena proses nitrifikasi dari amonium menjadi nitrit dan kemudian menjadi nitrat masih berlangsung. Kadar nitrit akan terus mengalami penurunan hingga habis teroksidasi menjadi senyawa nitrat yang lebih stabil (Zhang *et al.*, 2012).

4.4.7 Perubahan Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

Analisis TKN atau nitrogen berdasarkan kjeldahl bertujuan untuk mengetahui kandungan nitrogen organik dan nitrogen yang ada di dalam amonia. Analisis kadar TKN dilakukan dengan cara destruksi untuk merombak protein menjadi ammonia dan nitrogen organik (Sitorus, 2013). Analisis TKN dilakukan setiap 20 hari sekali. Hasil analisis TKN selama proses *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.7, nilai TKN dari hari ke-0 sampai hari ke-60 *co-composting* bersifat fluktuatif hampir pada semua reaktor uji dan reaktor kontrol tanah dan sampah organik.



Gambar 4.7 Perubahan Kondisi TKN selama *Co-composting*

Pada reaktor kontrol S/R0 berbahan 100% campuran sampah kebun dan rumen sapi kadar TKN selalu mengalami kenaikan. Pada *co-composting* hari ke-0, kadar TKN terbesar pada reaktor kontrol sebesar 1,9937% yaitu pada reaktor SK0 (100% sampah kebun). Sedangkan kadar TKN terbesar pada reaktor uji adalah sebesar 1,4792% yaitu pada reaktor SK75 (75% tanah tercemar : 25% sampah kebun).

Pada *co-composting* hari ke-20, kadar TKN pada reaktor uji dan kontrol ada yang mengalami kenaikan dan adapula yang mengalami penurunan. Pada ketiga reaktor uji berbahan campuran tanah tercemar dan sampah kebun (SK50, SK75, dan SK87), kadar TKN mengalami penurunan. Penurunan kadar TKN terbesar pada reaktor uji berbahan sampah kebun dan tanah adalah sebesar 0,9973% pada reaktor SK75. Pada ketiga reaktor uji berbahan campuran tanah tercemar dan rumen sapi (RS50, RS75, dan RS87), kadar TKN bersifat fluktuatif. Pada reaktor RS50 dan RS87 kadar TKN mengalami kenaikan, sedangkan pada reaktor RS75 kadar TKN mengalami penurunan. Pada ketiga reaktor uji berbahan tanah tercemar dan campuran sampah kebun dan rumen sapi (S/R50, S/R75, dan S/R87), kadar TKN mengalami kenaikan pada seluruh reaktor. Sedangkan pada

reaktor kontrol tanah yaitu reaktor T100 mengalami penurunan kadar TKN. Reaktor kontrol sampah organik (SK0, RS0, dan S/R0) ketiga-tiganya mengalami kenaikan kadar TKN.

Pada *co-composting* hari ke-40, kadar TKN pada reaktor uji dan kontrol ada yang mengalami kenaikan dan adapula yang mengalami penurunan. Pada ketiga reaktor uji berbahan campuran tanah tercemar dan sampah kebun (SK50, SK75, dan SK87), setelah mengalami penurunan pada hari ke-20, kadar TKN pada hari ke-40 mengalami kenaikan. Kenaikan kadar TKN terbesar pada reaktor uji berbahan sampah kebun dan tanah adalah sebesar 2,1681% pada reaktor SK75. Pada ketiga reaktor uji berbahan campuran tanah tercemar dan rumen sapi (RS50, RS75, dan RS87), kadar TKN mengalami penurunan. Pada reaktor RS75 kadar TKN mengalami penuruna terbesar yaitu 0,2164%. Pada ketiga reaktor uji berbahan tanah tercemar dan campuran sampah kebun dan rumen sapi (S/R50, S/R75, dan S/R87), kadar TKN bersifat fluktuatif. Pada reaktor S/R50 dan S/R87 kadar TKN mengalami kenaikan, sedangkan pada reaktor S/R75 kadar TKN mengalami penurunan. Sedangkan pada reaktor kontrol tanah yaitu reaktor T100 mengalami peningkatan kadar TKN. Reaktor kontrol sampah organik (SK0, RS0, dan S/R0) ketiga-tiganya mengalami kenaikan kadar TKN.

Pada *co-composting* hari ke-60, kadar TKN pada reaktor uji dan kontrol ada yang mengalami kenaikan dan adapula yang mengalami penurunan. Pada reaktor uji berbahan campuran tanah tercemar dan sampah kebun, SK50 dan SK75 mengalami penurunan, sedangkan SK87 mengalami kenaikan. Pada reaktor uji berbahan campuran tanah tercemar dan rumen sapi, RS50 dan RS87 mengalami kenaikan, sedangkan pada RS75 kadar TKN mengalami penurunan. Pada ketiga reaktor uji berbahan tanah tercemar dan campuran sampah kebun dan rumen sapi (S/R50, S/R75, dan S/R87), kadar TKN mengalami penurunan. Penurunan kadar TKN terbesar adalah pada reaktor S/R50 sebesar 1,8016%. Sedangkan pada reaktor kontrol tanah yaitu reaktor T100 mengalami penurunan kadar TKN. Reaktor kontrol sampah organik SK0 dan S/R0 mengalami kenaikan, sedangkan reaktor RS0 mengalami penurunan kadar TKN.

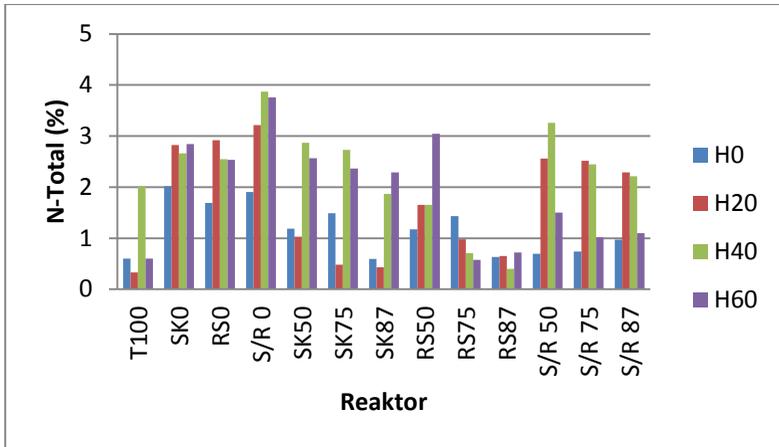
Peningkatan nilai TKN disebabkan karena adanya peningkatan nitrogen organik dalam bahan kompos. Nitrogen

yang mempengaruhi TKN ini dibentuk dari protein yang dirombak enzim proteolitik menjadi asam amino yang kemudian melalui proses hidrolisis menghasilkan ammonia (Sitorus, 2013). Reaktor kontrol menunjukkan hasil yang paling sedikit karena metabolisme zat organik hanya dilakukan oleh mikroorganisme yang berasal dari tanah saja atau dari sampah saja tanpa adanya mikroorganisme tambahan dari bahan lain. Penurunan TKN disebabkan karena adanya aktivitas mikroorganisme yang menghasilkan ammonia bebas yang diawali dengan pemanfaatan nitrogen oleh mikroorganisme.

4.4.8 Perubahan N-Total

Kadar N-total diukur untuk mengetahui perubahan unsur makro di dalam kompos. Kadar N-total dianalisis setiap 20 hari sekali selama *co-composting*. N-total didapatkan dengan menjumlahkan TKN dan N-anorganik (N-nitrat dan N-nitrit) sehingga kadar N-total sangat dipengaruhi oleh kadar TKN, nitrat, dan nitrit. N-total adalah nitrogen dalam bentuk organik dan anorganik. Senyawa organiknya disusun oleh protein, asam amino, dan enzim. Senyawa anorganiknya disusun oleh nitrat, nitrit, dan ammonia. Hasil analisis N-total selama *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Pada awal *co-composting*, kadar N-total pada reaktor kontrol dan reaktor uji berkisar antara 0,597%-2,015%. Kadar N-total terbesar pada reaktor uji adalah sebesar 1,487% pada reaktor SK75 (75% tanah tercemar : 25% sampah kebun). Kadar N-total pada reaktor kontrol tanah tercemar T100 adalah sebesar 0,599%. Sedangkan kadar N-total pada reaktor kontrol sampah organik terbesar adalah sebesar 2,015% (100% sampah kebun).



Gambar 4.8 Kondisi Kadar N-Total selama *Co-composting*

Kadar N-total pada reaktor uji dengan bahan baku sampah organik berupa sampah kebun bersifat fluktuatif dari hari ke-0 sampai hari ke-60 pada *co-composting*. Pada hari ke-20 *co-composting*, reaktor kontrol T100 (100% tanah tercemar) mengalami penurunan kadar N-total sebesar 0,267%, sedangkan reaktor kontrol SK0 (100% sampah kebun) mengalami kenaikan kadar N-total sebesar 0,811%. Pada reaktor uji SK50, SK75, dan SK87 pada hari ke-20 ketiganya mengalami penurunan kadar N-total. Penurunan terbesar adalah reaktor SK75 sebesar 1,003% penurunannya. Pada hari ke-40 *co-composting*, reaktor kontrol T100 mengalami kenaikan sebesar 1,68%, sedangkan kadar N-total dan pada reaktor SK0 mengalami penurunan sebesar 0,166%. Pada ketiga reaktor uji mengalami kenaikan dengan kenaikan terbesar adalah reaktor SK75 sebesar 2,47%. Pada hari ke-60 *co-composting*, reaktor SK50 dan SK75 mengalami penurunan kadar N-total, sedangkan reaktor SK87 mengalami kenaikan. Pada reaktor kontrol tanah 100%, T100 mengalami penurunan kadar N-total sedangkan pada reaktor kontrol 100% sampah kebun SK0 mengalami kenaikan kadar N-total.

Kadar N-total pada reaktor uji dengan bahan baku sampah organik berupa rumen sapi bersifat fluktuatif dari hari ke-0 sampai hari ke-40 pada *co-composting*. Pada hari ke-20 *co-composting*, reaktor kontrol RS0 (100% rumen sapi) mengalami

kenaikan kadar N-total sebesar 1,231%. Pada reaktor uji RS50 dan RS87 mengalami kenaikan kadar N-total masing-masing sebesar 0,477% dan 0,019%. Sedangkan reaktor uji RS87 mengalami penurunan kadar N-total sebesar 0,456%. Pada hari ke-40 *co-composting*, reaktor kontrol RS0 mengalami penurunan sebesar 0,376%. Pada reaktor uji RS50 mengalami kenaikan sebesar 0,002%, sedangkan pada reaktor uji RS75 dan RS87 mengalami penurunan kadar N-total masing-masing sebesar 0,268% dan 0,253%. Pada hari ke-60 *co-composting*, reaktor RS50 dan RS87 mengalami kenaikan kadar N-total, sedangkan reaktor RS75 mengalami penurunan. Pada reaktor kontrol tanah 100%, T100 mengalami penurunan kadar N-total sedangkan pada reaktor kontrol 100% rumen sapi RS0 mengalami penurunan kadar N-total.

Kadar N-total pada reaktor uji dengan bahan baku sampah organik berupa campuran sampah kebun dan rumen sapi bersifat fluktuatif dari hari ke-0 sampai hari ke-40 pada *co-composting* sedangkan reaktor kontrol S/R0 terus mengalami kenaikan. Pada hari ke-0 sampai hari ke-40 *co-composting*, reaktor kontrol S/R0 terus mengalami kenaikan kadar N-total dengan kenaikan terbesar pada hari ke-20 sebesar 1,309%. Pada hari ke-20 ketiga reaktor uji S/R50, S/R75, dan S/R87 mengalami kenaikan kadar N-total. Kenaikan kadar N-total terbesar adalah pada reaktor S/R50 dengan kenaikan sebesar 1,86%. Pada hari ke-40 *co-composting*, reaktor uji S/R50 mengalami kenaikan sebesar 0,71%. Pada reaktor uji S/R75 dan S/R87 mengalami penurunan kadar N-total dengan penurunan terbesar pada reaktor S/R87 sebesar 0,074%. Pada hari ke-60 *co-composting*, reaktor S/R50, S/R75, dan S/R87 mengalami penurunan kadar N-total. Pada reaktor kontrol tanah 100%, T100 mengalami penurunan kadar N-total sedangkan pada reaktor kontrol 100% campuran sampah kebun dan rumen sapi S/R0 mengalami penurunan kadar N-total.

Berdasarkan hasil analisis kadar N-total hingga *co-composting* pada hari ke-60 pada sebagian besar reaktor uji bersifat fluktuatif, namun pada hari ke-40 cenderung mengalami peningkatan. Peningkatan kadar nitrogen karena adanya aktivitas mikroorganisme yang mengubah amonium menjadi bentuk nitrat yang dapat meningkatkan unsur nitrogen dalam kompos atau

proses nitrifikasi (Ahmad *et al.*, 2012). Penambahan bahan organik pada tanah tercemar dapat meningkatkan kadar hara pada tanah (Handrianto *et al.*, 2012). Peningkatan kadar hara N pada tanah dikarenakan adanya dekomposisi bahan organik tanah, pengikatan oleh mikroorganisme, dan penambahan bahan organik yang mengandung kadar N tinggi. Mekanisme dekomposisi bahan organik menjadi nitrogen dalam tanah adalah melalui proses aminasi, amonifikasi dan nitrifikasi. Aminasi adalah pembentukan asam amino dari bahan organik (protein) oleh bermacam-macam (heterogenous) mikroorganisme. Amonifikasi adalah pembentukan ammonium dari senyawa-senyawa amino oleh mikroorganisme. Nitrifikasi adalah perubahan dari ammonium (NH_4^+) menjadi nitrit oleh bakteri *Nitrosomonas* kemudian menjadi nitrat oleh bakteri *Nitrobacter*.

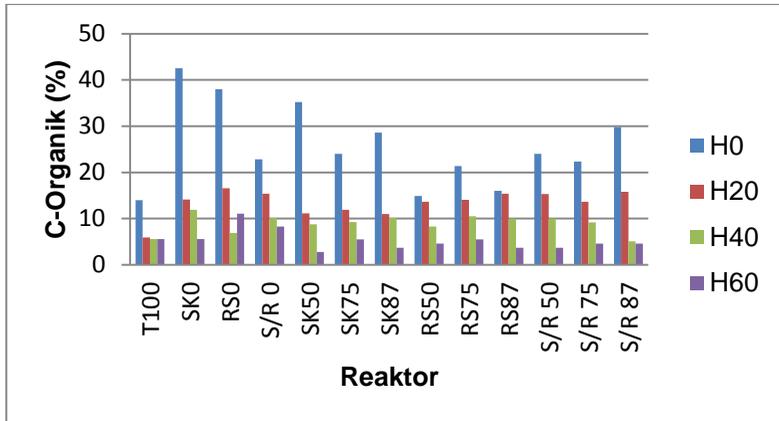
Kadar nitrogen mengalami fluktuasi karena adanya kehilangan nitrogen dalam bentuk amoniak yang sangat mudah menguap ke udara sehingga kadar nitrogen menurun sementara juga terjadi proses nitrifikasi. Di akhir pengomposan kadar nitrogen akan menurun karena aktivitas mikroorganisme untuk mengubah urea menjadi nitrat sudah menurun (Tarigan, 2001), selain itu adanya mikroorganisme yang mati sehingga produksi nitrat berkurang.

4.4.9 Perubahan C-Organik

Analisis C-organik dilakukan untuk menghitung besarnya rasio C/N pada *co-composting*. Analisis c-organik dilakukan dengan metode walkley and black setiap 20 hari sekali. C-organik merupakan sumber energi bagi mikroorganisme (Ahmad *et al.*, 2012). Pada proses pengomposan di penelitian ini, karbon diperoleh dari substrat yang digunakan yaitu polutan hidrokarbon dalam tanah, sampah kebun, rumen sapi, dan campuran keduanya.

Hasil analisis C-organik dari hari ke-0 sampai pada hari ke-60 *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.9. Pada awal *co-composting*, kandungan C-organik berkisar antara 14%-42,55% dan nilai Corganik itu tergolong tinggi. Pada reaktor kontrol T100 (tanah 100%) C-organik awal adalah sebesar 14%. Pada reaktor kontrol sampah organik, C-organik terbesar adalah reaktor SK0 (sampah kebun 100%) sebesar 42,55% dan reaktor

dengan C-organik terendah adalah reaktor S/R0 (campuran sampah kebun dan rumen sapi 100%) sebesar 22,86%. Sedangkan C-organik terbesar pada reaktor uji adalah reaktor SK50 sebesar 35,20% dan C-organik terendahnya adalah reaktor RS50 sebesar 14,88%.



Gambar 4. 9 Perubahan Kadar C-Organik selama *Co-composting*

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat kadar C-organik di semua reaktor mengalami penurunan selama *co-composting* dari hari ke-0 sampai pada hari ke-60. Pada hari ke-20 *co-composting*, reaktor uji dengan komposisi bahan kompos tanah tercemar dan sampah kebun (SK50, SK75, SK87) mempunyai laju penurunan paling besar dan paling cepat daripada reaktor uji berbahan tanah dan sampah organik lain yaitu sebesar 68%, 50%, dan 62%. Pada hari ke-20 *co-composting*, ketiga reaktor uji tersebut sudah memenuhi standar kadar karbon untuk kompos yang telah matang yaitu 10,99-11,11% berdasarkan SNI 19-7030-2004. Pada hari ke-20, penurunan kadar C-organik terbesar adalah pada reaktor SK50 sebesar 68%. Pada reaktor uji dengan bahan sampah organik lain pada hari ke-20 *co-composting* kadar C-organiknya sudah memenuhi standar karbon untuk kompos matang berdasarkan SNI 19-7030-2004. Pada hari ke-40 *co-composting*, kadar C-organik pada seluruh reaktor uji dan kontrol nilainya telah memenuhi standar karbon untuk kompos matang

berdasarkan SNI 19-7030-2004. Pada akhir *co-composting* yaitu hari ke-60 kadar C-organik di setiap reaktor uji terus mengalami penurunan. Penurunan kadar C-organik terbesar adalah pada reaktor SK50 sebesar 68,52%.

Sumber karbon (C) yang terdapat dalam bahan organik akan digunakan bakteri sebagai sumber energi untuk melakukan proses metabolisme. Bakteri akan terus menerus menggunakan karbon (C) sebagai sumber energinya sehingga jumlah karbon yang terkandung dalam bahan yang dikomposkan akan terus berkurang. Jumlah karbon yang terus berkurang tersebut mengakibatkan rasio C/N juga akan semakin kecil (Hanafi *et al.*, 2014). Pada reaktor uji dengan penambahan sampah kebun pada tanah tercemar penurunan C-organik lebih cepat dan efisiensinya besar karena C-organik pada sampah kebun kadarnya paling tinggi daripada rumen sapi atau campuran keduanya. Tingginya kadar C-organik pada sampah kebun sebagai nutrisi tambahan untuk sumber energi mikroorganisme menyebabkan aktivitas, pertumbuhan, dan jumlah mikroorganisme berjalan semakin cepat dan banyak. Oleh karena itu, C-organik semakin cepat menurun kadarnya karena besarnya jumlah mikroorganisme yang mengkonsumsi. Penambahan sampah kebun dengan komposisi terbesar yaitu 50% dari komposisi tanah dan sampah organik pada reaktor SK50 menyebabkan kadar C-organik mengalami penurunan tercepat dengan efisiensi terbesar.

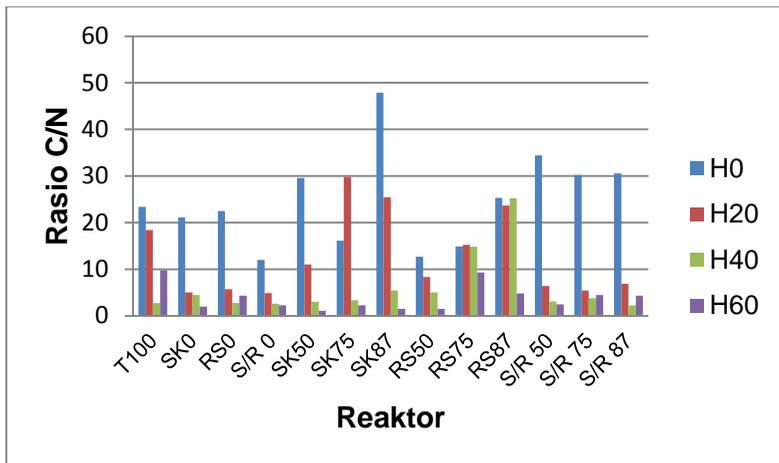
4.4.10 Perubahan Rasio C/N

Analisis rasio C/N dilakukan sebagai parameter tingkat kematangan kompos dan untuk mengetahui laju dekomposisi dalam *co-composting*. Laju dekomposisi pada *co-composting* tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik dapat diketahui berdasarkan besarnya penurunan rasio C/N yang terjadi (Hanafi *et al.*, 2014). Rasio C/N dihitung dalam bentuk C-organik/N-total. Nilai rasio C/N pada seluruh reaktor dari hari ke-0 sampai pada hari ke-60 *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.10.

Pada awal *co-composting*, nilai rasio C/N berkisar antara 11,99-47,87. Pada reaktor kontrol T100 (tanah 100%) rasio C/N awal adalah sebesar 23,37. Pada reaktor kontrol sampah organik, rasio C/N terbesar adalah reaktor RS0 (rumen sapi 100%) sebesar 22,48 dan reaktor dengan rasio C/N terendah adalah

reaktor S/R0 (campuran sampah kebun dan rumen sapi 100%) sebesar 11,99. Sedangkan rasio C/N terbesar pada reaktor uji adalah reaktor SK87 sebesar 47,87 dan rasio C/N terendahnya adalah reaktor RS50 sebesar 12,66.

Bahan kompos yang baik memiliki rentang rasio C/N total 25-50 (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Sebagian besar nilai rasio C/N pada reaktor kontrol maupun reaktor uji telah memenuhi rentang rasio C/N yang baik untuk bahan kompos. Hal ini karena seimbangnyaa kadar C-organik dengan kadar N-total yang tersedia pada bahan kompos. Pada reaktor RS50 dan RS75, rasio C/N kecil dan tidak memenuhi rasio C/N berdasarkan standar pengomposan yaitu sebesar 12,66 dan 14,88. Hal ini karena kadar C-organik yang rendah dan tidak sebanding dengan kadar N-total yang besar pada reaktor berjenis sampah rumen sapi ini.



Gambar 4.10 Perubahan Nilai Rasio C/N selama *Co-composting*

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat rasio C/N di sebagian besar reaktor mengalami penurunan selama *co-composting* dari hari ke-0 sampai pada hari ke-60. Menurut SNI 19-7030-2004 disebutkan bahwa kematangan kompos ditandai dengan rasio C/N total dalam rentang 10-20. Pada hari ke-20 *co-composting*, reaktor uji dengan komposisi bahan kompos tanah tercemar dan

campuran sampah kebun dan rumen sapi (S/R50, S/R75, S/R87) mempunyai laju penurunan paling besar dan paling cepat daripada reaktor uji berbahan tanah dan sampah organik lain. Pada hari ke-20 *co-composting*, ketiga reaktor uji tersebut memiliki rasio C/N yang kecil dan tidak memenuhi nilai rasio C/N kematangan kompos menurut SNI 19-7030-2004 dalam rentang 10-20. Pada hari ke-20, penurunan rasio C/N terbesar adalah pada reaktor S/R75 sebesar 82,05%. Pada reaktor uji dengan bahan sampah organik lain pada hari ke-20 *co-composting* nilai rasio C/N yang telah memenuhi standar rasio C/N untuk kematangan kompos berdasarkan SNI 19-7030-2004 adalah SK50 dan RS75.

Pada reaktor RS75, di hari ke-20 *co-composting* nilai rasio C/N mengalami kenaikan. Hal ini dapat diakibatkan oleh jumlah C-organik yang terlalu tinggi sementara jumlah N-total yang sangat kecil karena sebagian besar N-total hilang akibat menguapnya amonia sehingga kebutuhan N-total untuk perkembangan dan aktifitas mikroorganisme sangat kurang yang menyebabkan mikroorganisme lambat dalam mendegradasi bahan organik. sedangkan pada bahan organik terjadi pula proses desorpsi pada senyawa organik hidrofobik yang sebelumnya terikat dalam partikel tanah tercemar *crude oil* menyebabkan naiknya kadar C-organik dalam reaktor kompos. Asam humit dari kompos juga dapat meningkatkan proses desorpsi senyawa organik dari dalam tanah sehingga dapat menaikkan hidrokarbon dan C-organik bahan kompos (Van Gestel *et al.*, 2003).

Pada hari ke-40 *co-composting*, rasio C/N pada sebagian besar reaktor uji dan kontrol nilainya mengalami penurunan. Penurunan rasio C/N diakibatkan oleh terjadinya dekomposisi oleh mikroorganisme selama *co-composting* dimana kadar C-organik semakin kecil karena digunakan mikroorganisme sebagai sumber energi dan untuk respirasi dan metabolisme. Sementara kadar N-total meningkat karena mikroorganisme mengubah N-organik menjadi ammonia dan langsung dikonversi menjadi nitrat.

Nilai rasio C/N pada hari ke-40 sebagian besar berada di bawah kisaran standar rasio C/N untuk kematangan kompos berdasarkan SNI 19-7030-2004 dimana rasio C/N terlalu kecil sebagian besar <10. Rasio C/N yang terlalu kecil menunjukkan

berlebihnya jumlah N per degradable C dan berlebihnya jumlah inorganik N karena N terus naik, selain itu nilai C-organik semua bahan mengalami penurunan. Pada hari ke-40, reaktor RS87 mengalami kenaikan rasio C/N seperti halnya reaktor RS75 pada hari ke-20. Proses desorpsi juga terjadi namun terjadi lebih lambat daripada reaktor RS75.

Pada akhir pengomposan yaitu hari ke-60 *co-composting*, rasio C/N mengalami penurunan pada sebagian besar reaktor uji. Penurunan rasio C/N disebabkan oleh semakin kecilnya kadar C-organik pada bahan kompos namun N-total pada bahan kompos mengalami kenaikan dari hari ke-20. Kadar N-total bersifat fluktuatif, namun penurunannya tidak terlalu besar sehingga kadar N-total di akhir pengomposan lebih besar dibandingkan pada awal pengomposan. Sementara kadar C-organik terus mengalami penurunan dari awal hingga akhir *co-composting* karena didegradasi oleh mikroorganisme. Hal ini yang menyebabkan kecilnya rasio C/N di akhir *co-composting*. Kisaran rasio C/N pada akhir *co-composting* adalah 1,09-9,81. Namun seluruh rasio C/N berada di bawah rasio C/N kompos matang (10-20). Kecilnya rasio C/N di akhir *co-composting* dapat diatasi dengan penambahan *bulking agent*. Penambahan *bulking agent* atau agen penyangga dapat mencegah pemadatan tanah dan meningkatkan porositas tanah serta suplai oksigen. Peningkatan porositas seringkali diikuti dengan menurunnya kadar kelembaban tanah sehingga diperlukan agen penyangga untuk mempertahankannya selama proses biodegradasi berlangsung (Ali, 2012). Jenis agen penyangga yang dapat digunakan antara lain rumput kering, ranting, dan jerami. Kecilnya rasio C/N di akhir *co-composting* pada tanah hasil pengolahan dapat menyebabkan keracunan pada tanaman dan makhluk hidup yang tumbuh di sana karena berlebihnya jumlah N dan kurangnya nutrisi untuk metabolisme.

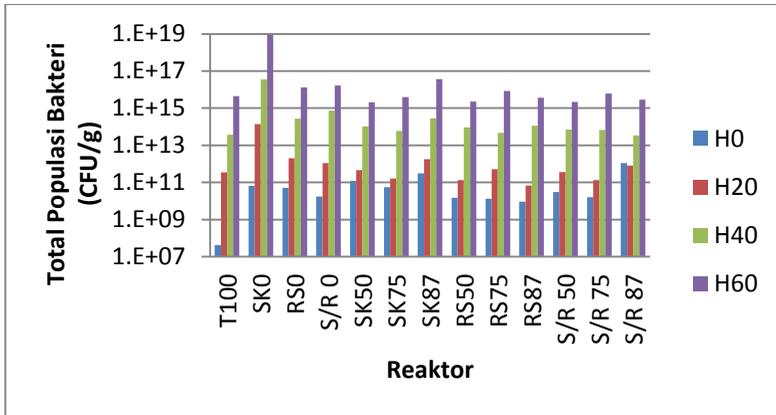
Berdasarkan hasil penelitian sampai hari ke-40 *co-composting*, reaktor SK50, RS50, dan S/R50 mengalami penurunan rasio C/N yang besar dan cepat karena pada hari ke-20 sudah turun dengan efisiensi yang besar masing-masing 62,64%, 33,96%, dan 81,48%. Pada hari ke-60 *co-composting* efisiensi penurunan rasio C/N ketiganya masing-masing adalah 64,21%, 69,48%, dan 20,14%. Hal ini menunjukkan bahwa

semakin banyak sampah organik yang ditambahkan maka semakin tinggi tingkat penurunan rasio C/N karena mikroorganisme memanfaatkan sampah organik sebagai sumber karbon mereka. Namun, nilai akhir rasio C/N pada hari ke-60 *co-composting* juga menjadi pertimbangan dalam menentukan reaktor yang paling efektif. RS75, RS87, S/R75, dan S/R87 merupakan reaktor dengan nilai rasio C/N yang paling bagus dan sesuai dengan kriteria kematangan kompos. Kisaran standar rasio C/N untuk kematangan kompos berdasarkan SNI 19-7030-2004 yaitu 10-20.

4.4.11 Perubahan Total Populasi Bakteri

Analisis populasi bakteri dilakukan untuk mengetahui jumlah kisaran bakteri yang hidup dalam setiap reaktor kompos pada masing-masing perlakuan. Analisis populasi bakteri menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC) yang dilakukan setiap 20 hari sekali. Hasil analisis perhitungan jumlah populasi bakteri dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Pada hari ke-0 proses *co-composting*, jumlah populasi bakteri pada seluruh reaktor berkisar antara ($4,26 \times 10^7$ - $1,124 \times 10^{12}$) CFU/g. Jumlah populasi bakteri terendah dari semua reaktor adalah pada reaktor kontrol T100 (100% tanah) sebesar $4,26 \times 10^7$ CFU/g. Pada reaktor kontrol sampah organik jumlah populasi bakteri terbesar adalah pada reaktor SK0 (100% sampah kebun) sebesar $6,524 \times 10^{10}$ CFU/g, sedangkan jumlah populasi bakteri terendah adalah reaktor S/R0 (100% campuran sampah kebun dan rumen sapi) sebesar $1,761 \times 10^{10}$ CFU/g. Pada reaktor uji, jumlah populasi bakteri terbesar adalah reaktor SK87 (87,5% tanah:12,5% campuran sampah kebun dan rumen sapi) sebesar $3,11 \times 10^{11}$ CFU/g. Sedangkan jumlah populasi bakteri terendah pada reaktor uji adalah reaktor RS87 (87,5% tanah:12,5% rumen sapi) sebesar $9,12 \times 10^9$ CFU/g.



Gambar 4.11 Perubahan Total Populasi Bakteri selama Co-composting

Berdasarkan Gambar 4.11, pada hari ke-20 *co-composting*, jumlah populasi bakteri pada sebagian besar reaktor kontrol dan uji mengalami kenaikan, kecuali pada reaktor S/R87 yang mengalami penurunan jumlah populasi bakteri. Pada reaktor kontrol, laju kenaikan jumlah populasi bakteri paling besar adalah pada reaktor SK0 (100% sampah kebun) yaitu sebesar $1,403 \times 10^{14}$ CFU/g. Sedangkan laju kenaikan jumlah populasi bakteri terendah pada reaktor kontrol sampah organik adalah reaktor S/R 0 (100% campuran sampah kebun dan rumen sapi) sebesar $1,093 \times 10^{12}$ CFU/g. Pada reaktor kontrol tanah 100% yaitu reaktor T100 laju kenaikan jumlah populasi bakteri adalah sebesar $3,528 \times 10^{11}$ CFU/g. Pada reaktor uji SK87 (87,5% tanah:12,5% sampah kebun) mempunyai laju kenaikan jumlah populasi bakteri paling besar yaitu $1,456 \times 10^{12}$ CFU/g. Pada hari ke-40 dan hari ke-60 *co-composting*, seluruh reaktor uji dan kontrol mengalami kenaikan jumlah populasi bakteri. Reaktor SK0 (100% sampah kebun) tetap mengalami laju kenaikan terbesar pada reaktor kontrol sampah organik. sedangkan pada reaktor uji, reaktor dengan laju kenaikan jumlah populasi bakteri terbesar adalah tetap pada reaktor SK87.

Kenaikan jumlah populasi bakteri mengindikasikan terjadinya aktifitas metabolisme (Hanafi *et al.*, 2014), semakin besar laju kenaikan jumlah populasi bakteri maka semakin cepat

proses dekomposisi terjadi dalam *co-composting*. Hal ini juga dibuktikan dengan penurunan kadar C-organik pada hari ke-20 sampai hari ke-60 *co-composting*. Dalam proses dekomposisi, karbon dijadikan sebagai sumber energi untuk menyusun bahan selular sel-sel mikroba dengan membebaskan CO₂ dan bahan-bahan lain yang mudah menguap. Peningkatan jumlah populasi bakteri selama proses *co-composting* berlandaskan bahwa ketersediaan bahan organik sebagai nutrisi untuk pertumbuhannya selalu terpenuhi pada semua reaktor uji (Sari *et al.*, 2015). Pada reaktor SK87 mengalami laju kenaikan jumlah populasi bakteri paling besar karena komposisi tanah yang lebih besar daripada variasi lain sehingga jumlah bakteri pada tanah besar dan adanya penambahan sampah kebun yang memiliki laju kenaikan jumlah populasi bakteri terbesar di antara sampah organik lain. Selain itu kadar C-organik sampah kebun yang tinggi dapat menstimulasi aktivitas mikroorganisme pada reaktor SK87 sehingga terjadi perkembangan jumlah mikroorganisme terbesar dan tercepat. Peningkatan jumlah mikroba terbesar ini dimungkinkan karena dengan mencampurkan tanah tercemar dengan dengan sampah maka semua mikroorganisme yang berasal dari tanah tercemar dan sampah kebun dapat bekerjasama dan berperan aktif untuk mendekomposisikan senyawa-senyawa kimia bahan organik, baik yang mudah di dekomposisi maupun senyawa yang sulit di dekomposisi (Fitri *et al.*, 2012).

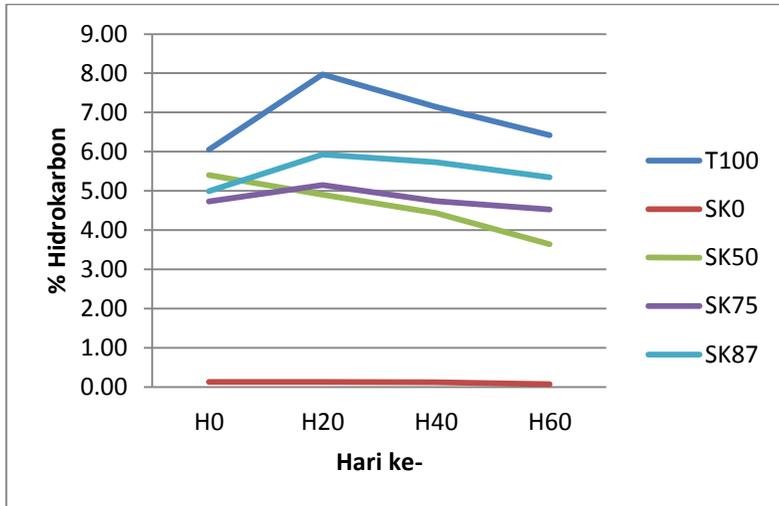
Penurunan jumlah populasi bakteri pada reaktor S/R87 pada hari ke-20 *co-composting* disebabkan oleh sedikitnya komposisi sampah organik dalam reaktor sehingga pertumbuhan dan perkembangan aktifitas bakteri tidak secepat dan sebanyak reaktor lain karena kurangnya penambahan nutrisi. Penurunan total populasi bakteri pada reaktor S/R87 juga dapat diakibatkan oleh adanya kesalahan dalam perhitungan dan analisis total populasi bakteri di laboratorium.

Peningkatan jumlah populasi bakteri yang terjadi selama proses *co-composting* menunjukkan bahwa bakteri mampu beradaptasi terhadap keberadaan hidrokarbon (Sari *et al.*, 2015). Pertumbuhan bakteri sangat dipengaruhi oleh suhu dimana dalam penelitian ini suhu berada pada fase mesofilik. Suhu mesofilik tersebut menandakan bahwa bakteri yang tumbuh dan

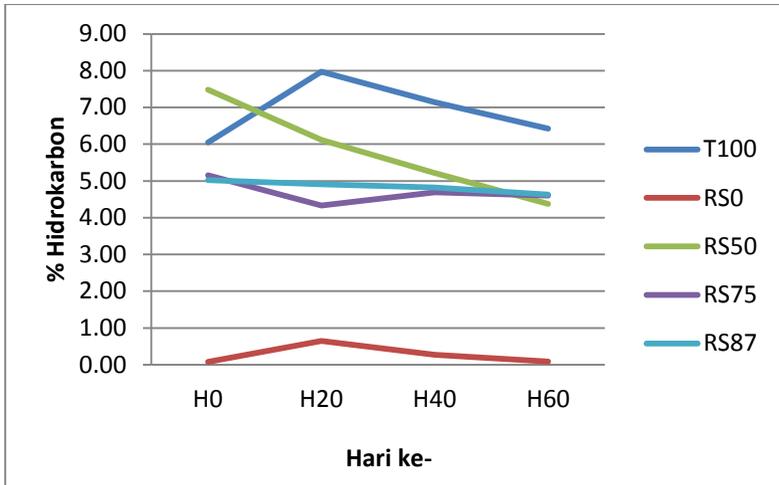
berkembang biak adalah bakteri mesofilik. *Co-composting* yang dilakukan pada kondisi aerobik juga menandakan jika bakteri yang bekerja adalah bakteri aerob.

4.5 Kadar Hidrokarbon selama *Co-composting*

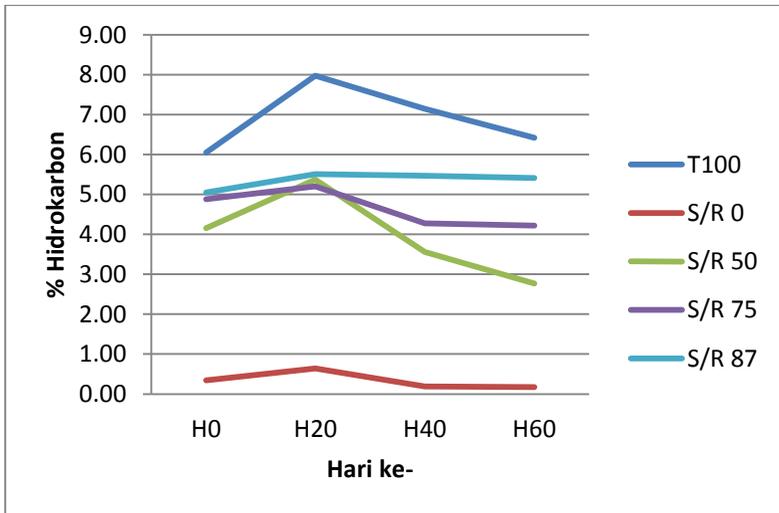
Co-composting tanah tercemar *crude oil* dengan sampah organik *biodegradable* selama 60 hari ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis sampah organik dan komposisi antara tanah tercemar *crude oil* dengan sampah organik *biodegradable* dalam penyisihan kadar hidrokarbon. Analisis kadar hidrokarbon dilakukan untuk mengetahui kadar hidrokarbon dan tingkat penyisihan hidrokarbon dalam *co-composting* tanah tercemar *crude oil* dengan sampah organik *biodegradable*. Analisis kadar hidrokarbon dilakukan setiap 20 hari sekali dengan metode ekstraksi soxhlet. Hasil analisis kadar hidrokarbon selama *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.12 sampai pada Gambar 4.14.



Gambar 4.12 Kadar Hidrokarbon pada Reaktor Berbahan Tanah dan Sampah Kebun selama *Co-composting*



Gambar 4.13 Kadar Hidrokarbon pada Reaktor Berbahan Tanah dan Rumen Sapi selama *Co-composting*



Gambar 4.14 Kadar Hidrokarbon pada Reaktor Berbahan Tanah dan Campuran Sampah Kebun dan Rumen Sapi selama *Co-composting*

Perbandingan kadar hidrokarbon awal pada reaktor uji dapat dilihat pada Gambar 4.12 sampai Gambar 4.14. Pada reaktor uji dengan komposisi tanah tercemar *crude oil* dengan sampah organik berupa sampah kebun, rumen sapi, dan campuran keduanya memiliki kadar hidrokarbon yang tidak jauh berbeda. Kadar hidrokarbon awal yang tertinggi dari reaktor uji dengan jenis sampah organik yang berbeda adalah SK50, RS50, dan S/R87 masing-masing sebesar 5,4%; 7,48%; dan 5,04%. Sedangkan kadar hidrokarbon awal yang terendah dari reaktor uji dengan jenis sampah organik yang berbeda adalah SK75, RS87, dan S/R75 masing-masing sebesar 4,73%; 5,02%; dan 4,16%. Berdasarkan perbandingan besar kadar hidrokarbon awal tersebut maka dapat dikatakan semakin besar komposisi tanah tercemar *crude oil* yang ditambahkan, maka semakin besar kadar hidrokarbon dalam reaktor. Hal ini disebabkan kadar hidrokarbon dalam tanah tercemar *crude oil* yang tinggi, sedangkan kadar hidrokarbon dalam sampah organik sangat rendah. Namun, pada reaktor uji berbahan sampah organik rumen sapi lokal dan sampah kebun, kadar hidrokarbon terbesar adalah pada reaktor RS75 dan SK75 (T:S/75:25). Hal ini dikarenakan pada awal *co-composting*, sampah organik masih berbentuk sampah segar dengan ukuran material sampah yang besar namun sangat ringan. Oleh karena itu, jumlah 1 kg sampah rumen dan sampah kebun lebih banyak dibandingkan jumlah 1 kg tanah tercemar. Selain itu, kurang meratanya tanah dan sampah organik pada pengambilan sampel untuk analisis juga bisa menjadi penyebabnya.

Pada hari ke-20 *co-composting*, kadar hidrokarbon pada sebagian besar reaktor kontrol dan reaktor uji mengalami kenaikan, kecuali pada reaktor uji SK50, RS50, RS75, dan RS87. Kadar hidrokarbon pada reaktor SK0 tetap sedangkan pada reaktor uji SK50, RS50, RS75, dan RS87 kadar hidrokarbon menurun. Kenaikan kadar hidrokarbon hari ke-20 pada bahan kompos terjadi karena desorpsi (pelepasan) senyawa hidrokarbon yang terikat pada matriks tanah dan hidrokarbon tersebut dapat terikat menjadi satu pada matriks organik kompos sehingga mengakibatkan meningkatnya kandungan zat organik. Hal ini terjadi karena mikroorganisme hidrokarbonoklastik mampu menghasilkan biosurfaktan yang dapat melemahkan ikatan

antara hidrokarbon dan ikatan hidrokarbon dengan matriks tanah sehingga hidrokarbon terdesorpsi. Selain itu, adanya asam humat pada kompos atau *compost humic acid-like* (cHAL) sebagai hasil proses humifikasi pada kompos dapat meningkatkan desorpsi senyawa organik dari matriks tanah (Van Gestel *et al.*, 2003). *compost humid acid-like* (cHAL) berperan sebagai surfaktan (natural surfactant) yang dapat meningkatkan desorpsi hidrokarbon dari matriks tanah (Quagliotto *et al.*, 2006).

Pada reaktor S/R50 mengalami kenaikan kadar hidrokarbon terbesar (22,58%) daripada reaktor uji lainnya. Hal ini karena pada reaktor tersebut terdapat komposisi sampah organik campuran sampah kebun dan rumen sapi lokal yang besar daripada reaktor uji lain. Hal ini dapat menyebabkan asam humat dan cHAL yang dihasilkan kompos dari sampah organik semakin besar dengan komposisi sampah organik yang besar, tingginya kadar C-organik, dan tingginya bakteri penghasil biosurfaktan pada reaktor tersebut. Selain itu, cHAL hanya dihasilkan oleh sampah organik yang mengandung *ligniniselulosa* yaitu sampah kebun salah satunya (Quagliotto *et al.*, 2005).

Pada reaktor SK50, RS50, RS75, dan RS87 mengalami penurunan kadar hidrokarbon masing-masing dengan efisiensi sebesar 9%, 18%, 16%, dan 2%. Efisiensi penurunan kadar hidrokarbon pada beberapa reaktor uji di hari ke-20 *co-composting* diakibatkan jumlah populasi bakteri yang masih sedikit dibandingkan dengan kadar hidrokarbon yang tinggi sehingga hanya sebagian kecil hidrokarbon yang bisa didegradasi mikroorganisme (Atagana, 2008). Selain itu, adanya mikroorganisme hidrokarbonoklastik dan adanya asam humat pada kompos yang membantu proses desorpsi hidrokarbon dari tanah lebih cepat terbentuk sebelum hari ke-20 *co-composting* dikarenakan komposisi sampah organik yang besar pada reaktor SK50. Pada reaktor RS50, RS75, dan RS87 kemungkinan sedikit sekali terbentuk cHAL, sehingga desorpsi hidrokarbon terjadi lebih lambat.

Pada hari ke-40 *co-composting*, kadar hidrokarbon pada seluruh reaktor kontrol dan reaktor uji mengalami penurunan kadar hidrokarbon. Hal ini menunjukkan mulai terjadi penyisihan kadar hidrokarbon oleh mikroorganisme hidrokarbonoklastik pada *co-composting* hari ke-40. Pada reaktor kontrol T100 (100%

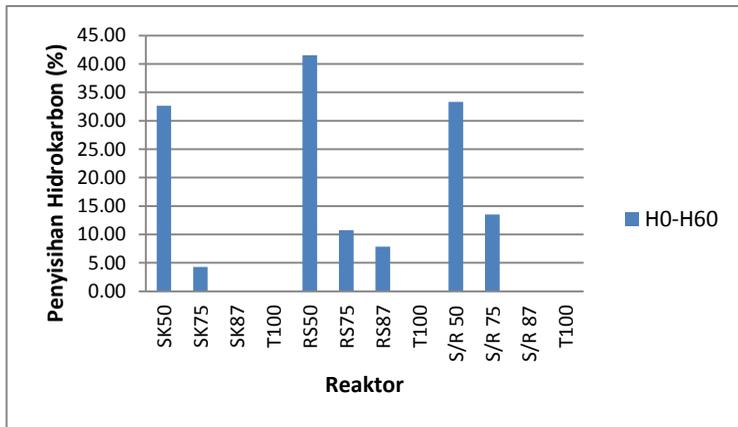
tanah) kadar hidrokarbon turun menjadi 7,14% dengan tingkat penyisihan 10,38%. Sedangkan pada reaktor kontrol sampah organik, reaktor dengan tingkat penyisihan terendah dan tertinggi adalah reaktor SK0 dan S/R0 dengan tingkat penyisihan 10,13% dan 70,27%. Kadar hidrokarbon pada reaktor SK0 dan S/R0 turun menjadi 0,12% dan 0,19%.

Pada hari ke-40 *co-composting* pada reaktor uji, penyisihan hidrokarbon tertinggi adalah reaktor S/R50 yaitu 5,37% menjadi 3,56% dengan efisiensi penyisihan 33,68%. Sedangkan penyisihan hidrokarbon terendah adalah reaktor S/R87 yaitu 5,15% menjadi 5,47% dengan efisiensi penyisihan 0,7%. Pada hari ke-60 *co-composting* atau akhir dari proses *co-composting*, pada reaktor uji terjadi penurunan kadar hidrokarbon. namun, penurunan kadar hidrokarbon tidak setinggi pada hari ke-40. Penurunan hidrokarbon paling besar tetap terjadi pada reaktor S/R50 yaitu 3,56% menjadi 2,77% dengan tingkat penyisihan sebesar 22,16%. Penurunan tingkat penyisihan kadar hidrokarbon pada hari ke-60 terjadi karena berkurangnya senyawa organik dalam bahan kompos yang menyebabkan bakteri kekurangan nutrisi untuk metabolisme sehingga proses dekomposisi senyawa organik dan pengukuran hidrokarbon berjalan lambat. Penurunan kadar hidrokarbon terjadi karena adanya penambahan nutrisi berupa sampah organik pada *co-composting* yang dapat mempercepat aktivitas atau perkembangan dan memperbanyak jumlah total populasi bakteri pada kompos (Atagana, 2008). Keduanya adalah reaktor berbahan tanah dengan sampah organik berupa campuran sampah kebun dan rumen sapi. berdasarkan hasil penyisihan hidrokarbon pada hari ke-40, tingkat penyisihan hidrokarbon bergantung pada besar komposisi sampah organik yang ditambahkan pada tanah dalam *co-composting*. Semakin besar komposisi sampah organik yang ditambahkan dalam *co-composting*, maka semakin besar pula tingkat penyisihan hidrokarbon. Sementara jenis sampah organik yang ditambahkan pada *co-composting* tidak terlalu berpengaruh pada tingkat penyisihan hidrokarbon.

4.6 Pengaruh *Co-composting* terhadap Penyisihan Hidrokarbon

➤ Hubungan Komposisi Penambahan Sampah Organik pada *Co-composting* dalam Penyisihan Hidrokarbon pada Tanah Tercemar *Crude Oil*

Reaktor uji dengan penyisihan hidrokarbon tertinggi adalah reaktor RS50 (50%tanah:50% sampah rumen sapi) dengan tingkat penyisihan sebesar 41,51% dari hari ke-0 sampai hari ke-60 *co-composting*. Hidrokarbon mengalami penurunan kadar dari 7,48% menjadi 4,37% di akhir *co-composting*. Besarnya penyisihan hidrokarbon dari hari ke-0 sampai hari ke-60 *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Persen Penyisihan Hidrokarbon dari Hari ke-0 sampai Hari ke-60 *Co-composting*

Berdasarkan Gambar 4.15 diketahui penyisihan hidrokarbon terbesar adalah reaktor dengan komposisi tanah dan sampah organik (50:50) untuk semua jenis sampah organik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar komposisi sampah organik yang ditambahkan maka semakin besar pula hidrokarbon yang dapat disisihkan. Sampah organik sebagai nutrisi tambahan (*starter*) yang membantu mempercepat aktifitas mikroorganisme dalam mendekomposisi dan mendegradasi bahan organik

termasuk hidrokarbon. Hal ini diperkuat dengan beberapa penelitian terdahulu yaitu tingginya penyisihan kadar hidrokarbon pada komposisi sampah organik dalam jumlah lebih besar daripada tanah tercemar.

Van Gestel *et al.* (2003) mengatakan hidrokarbon dapat disisihkan optimum (86%) dan lebih cepat (12 minggu) pada *co-composting* tanah terkontaminasi hidrokarbon dengan campuran sampah organik (sampah sayur, buah, dan daun-daun kering) dengan perbandingan T/S 1:9. Pada penelitian tersebut juga dijelaskan semakin besar penambahan sampah organik pada *co-composting* tanah terkontaminasi dapat mempercepat dan memperbesar penyisihan kontaminan hidrokarbon dalam tanah. Wang *et al.* (2011) juga mengatakan *co-composting* tanah tercemar petroleum dengan sampah organik dari kebun dengan komposisi T/S 1:2 dapat menurunkan kadar hidrokarbon lebih besar dan cepat sampai 79,32%-82,27% selama 150 hari *co-composting*.

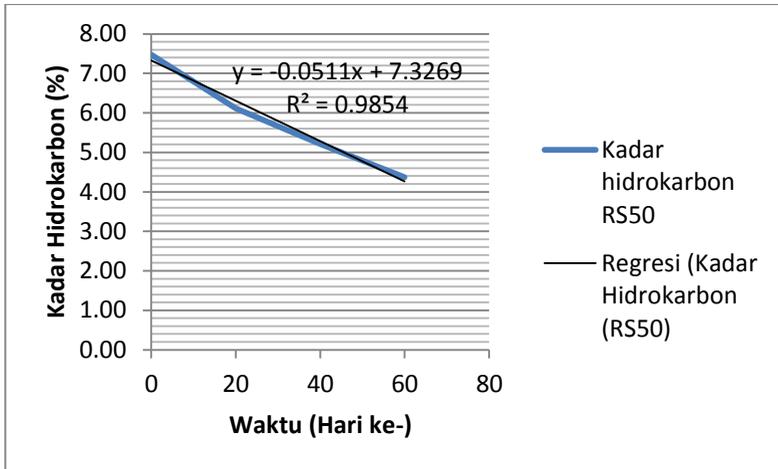
Pada penelitian ini, penyisihan terbesar adalah reaktor RS50 yaitu reaktor berbahan tanah tercemar dengan sampah rumen sapi lokal. Pada awal *co-composting*, reaktor RS50 memiliki kadar N-total yang tergolong tinggi dibandingkan reaktor uji yang lain yaitu sebesar 1,175%. Kadar N-total yang tinggi dapat lebih menstimulasi pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme sehingga aktivitas mikroorganisme dalam mengurai hidrokarbon lebih optimum dan cepat. Kadar C-organik pada reaktor RS50 sebesar 37%, kadar C-organik ini paling kecil dibandingkan dengan reaktor uji yang lain. Kadar N-total yang tinggi dan kadar C-organik yang tidak terlalu besar ini menyebabkan nilai rasio C/N pada reaktor RS50 memenuhi standar rasio C/N awal pengomposan yaitu 31,66. Nilai rasio C/N tersebut berada dalam kisaran 25-50 yaitu nilai rasio C/N sesuai standar awal pengomposan (Tchobagnoglous *et al.*, 1993).

Pada Gambar 4.15 di atas juga dapat dilihat bahwa reaktor uji dengan campuran tanah tercemar dan sampah rumen sapi lokal terus mengalami penurunan sampai pada komposisi sampah organik terkecil (T:S/87,5%:12,5%). Penyisihan hidrokarbon tetap terjadi walaupun cenderung melambat lajunya sampai pada komposisi sampah organik terkecil. Sedangkan pada reaktor uji dengan jenis sampah kebun dan campuran

sampah kebun dan rumen sapi lokal pada komposisi sampah organik terkecil (T:S/87,5%:12,5%) sudah tidak terjadi penyisihan hidrokarbon. Namun pada reaktor uji S/R75 dengan komposisi tanah tercemar dengan campuran sampah kebun dan rumen sapi lokal (T:S/75%:25%) memiliki penyisihan hidrokarbon lebih besar dibandingkan reaktor uji RS75 yaitu 13,52%. Sedangkan penyisihan hidrokarbon pada reaktor uji RS75 adalah sebesar 10,72%. Hal ini karena adanya senyawa cHAL yang dihasilkan dari sampah yang berasal dari kayu yaitu sampah kebun. Selain itu, penambahan campuran sampah kebun dan rumen sapi lokal 50% pada tanah tercemar dapat menurunkan kadar hidrokarbon paling rendah di awal *co-composting*. Oleh karena itu, rekomendasi jenis sampah organik yang digunakan dalam penyisihan hidrokarbon pada tanah tercemar *crude oil* adalah campuran sampah kebun dan rumen sapi lokal dengan komposisi (T:S/50:50).

➤ **Waktu *Co-composting* dalam Penyisihan Hidrokarbon pada Tanah Tercemar *Crude Oil***

Berdasarkan Gambar 4.15, penyisihan hidrokarbon yang paling baik adalah reaktor RS50. Namun, penyisihan kadar hidrokarbon sampai hari ke-60 *co-composting* pada reaktor RS50 dan reaktor uji lain masih belum memenuhi baku mutu berdasarkan Kepmen LH No. 128/2003 yaitu sebesar 1%. Hal ini dikarenakan kurang lamanya waktu *co-composting*. Menurut Wang *et al.* (2011), sebagian besar polutan hidrokarbon dapat tersisihkan dari tanah terkontaminasi dengan *co-composting* yang dilakukan selama 120 hari. Menurut Kepmen LH No. 128/2003, keberhasilan proses pengolahan biologis dalam menurunkan kadar hidrokarbon sampai memenuhi kriteria yang dipersyaratkan dievaluasi dengan ketentuan waktu maksimum pengolahan adalah 8 bulan. Kadar hidrokarbon $\leq 1\%$ dapat dicapai jika waktu *co-composting* diperpanjang menjadi 120 hari atau lebih. Penurunan kadar hidrokarbon sampai memenuhi baku mutu pada reaktor RS50 dapat diperkirakan dengan persamaan dari grafik penurunan kadar hidrokarbon terhadap fungsi waktu pada Gambar 4.16. Berdasarkan persamaan pada Gambar 4.16, kadar hidrokarbon mencapai $< 1\%$ pertama kali adalah pada hari ke-130 *co-composting* yaitu sebesar 0,68%.



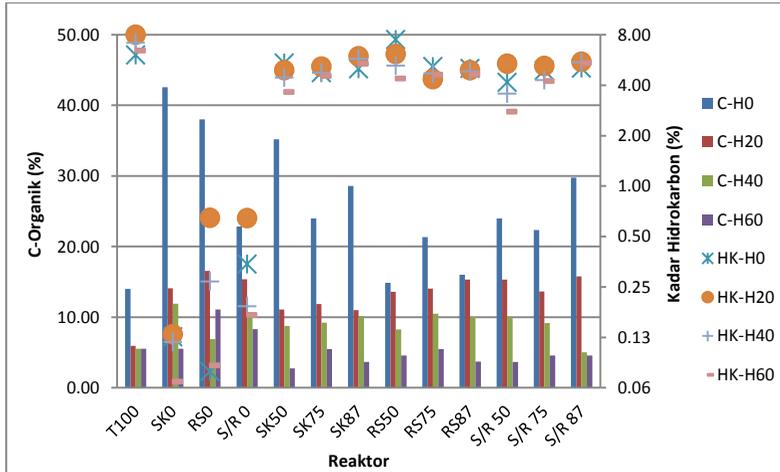
Gambar 4.16 Penurunan Kadar Hidrokarbon terhadap Fungsi Waktu dari Hari ke-20 sampai Hari ke-60 *Co-composting*

➤ **Hubungan C-Organik, Total Populasi Bakteri, dan Penyisihan Hidrokarbon pada *Co-composting***

Penyisihan kadar hidrokarbon dalam tanah tercemar dengan *co-composting* dipengaruhi oleh penurunan kadar C-organik dalam bahan kompos dan peningkatan total populasi bakteri. Hubungan antara ketiganya dapat dilihat pada Gambar 4.17, Gambar 4.18, dan Gambar 4.19.

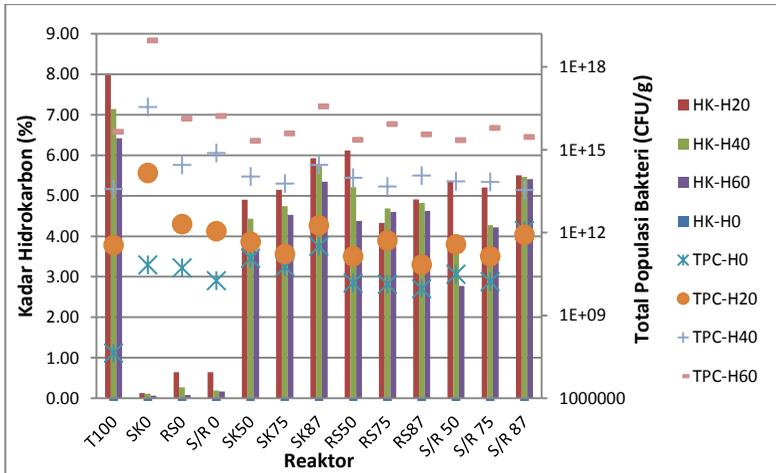
Pada Gambar 4.17 dapat dilihat perbandingan kadar C-organik dan kadar hidrokarbon selama *co-composting*. Berdasarkan Gambar 4.17, C-organik dan hidrokarbon sama-sama mengalami penurunan. Namun, penurunan kadar hidrokarbon lebih lambat dibandingkan penurunan kadar C-organik yang cepat dari awal hingga akhir *co-composting*. Hal ini terjadi karena mikroorganisme lebih mudah mendegradasi senyawa organik dari bahan organik kompos daripada senyawa hidrokarbon. Senyawa organik dari bahan kompos yaitu C-organik sebagai nutrisi tambahan mikroba untuk metabolisme dan mendegradasi senyawa hidrokarbon (Sari *et al.*, 2015). Senyawa hidrokarbon sulit dan lama didegradasi karena ikatan senyawanya yang kuat dan kompleks, senyawanya yang juga

berikatan dengan matriks tanah, dan bersifat toksik pada sebagian mikroorganismenya (Mujab, 2011).



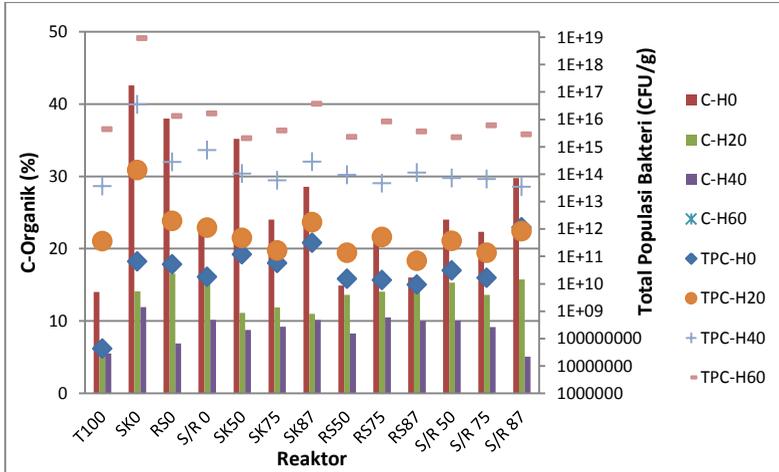
Gambar 4.17 Perbandingan Penurunan C-Organik dan Penurunan Kadar Hidrokarbon selama *Co-composting*

Pada Gambar 4.18 dapat dilihat hubungan antara kadar hidrokarbon dengan total populasi bakteri. Pada Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa dari awal sampai akhir *co-composting* terjadi penyisihan kadar hidrokarbon, namun sebaliknya terjadi kenaikan total populasi bakteri dari awal hingga akhir *co-composting*. Peningkatan total populasi bakteri mengindikasikan bakteri mampu bertahan dan beradaptasi dengan adanya senyawa hidrokarbon (Wang *et al.*, 2011). Mikroorganismenya hidrokarbonoklastik juga mendegradasi hidrokarbon sehingga kadarnya menurun walaupun cenderung lambat karena ikatan senyawanya yang kuat dan kompleks juga hidrokarbon berikatan dengan matriks tanah (Mujab, 2011).



Gambar 4.18 Hubungan Penyisihan Hidrokarbon dan Total Populasi Bakteri dari Hari ke-0 sampai Hari ke-60 *Co-composting*

Pada Gambar 4.19 dapat dilihat hubungan antara C-Organik dengan total populasi bakteri. Berdasarkan Gambar 4.19 terjadi penurunan C-Organik, namun sebaliknya terjadi kenaikan total populasi bakteri dari awal hingga akhir *co-composting*. Penurunan kadar C-Organik yang besar dari awal hingga akhir *co-composting* karena sumber karbon (C) yang terdapat dalam bahan organik akan digunakan bakteri sebagai sumber energi untuk melakukan proses metabolisme. Bakteri akan terus menerus menggunakan karbon (C) sebagai sumber energinya sehingga jumlah karbon yang terkandung dalam bahan yang dikomposkan akan terus berkurang sementara jumlah bakteri terus bertambah (Atagana, 2008).



Gambar 4.19 Hubungan C-Organik dan Total Populasi Bakteri dari Hari ke-0 sampai Hari ke-60 Co-composting

Pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.19 di atas dapat dilihat pada reaktor S/R50 kadar C-organik yang tinggi pada awal *co-composting* yaitu sebesar 60%. Tingginya kadar C-organik mengindikasikan kandungan nutrisi yang kaya sehingga dapat mempercepat metabolisme dan aktivitas mikroorganisme mendegradasi hidrokarbon dan memperbanyak jumlah populasi bakteri (Atagana, 2008). Sumber karbon (C) yang terdapat dalam bahan organik akan digunakan bakteri sebagai sumber energi untuk melakukan proses metabolisme mikroorganisme dalam mendekomposisi hidrokarbon juga mengalami penurunan.

4.7 Uji Statistik ANOVA Two Way (Pengaruh Variasi Komposisi dan Jenis Sampah Organik terhadap Penyisihan Hidrokarbon)

Dalam penelitian ini, hasil analisa parameter kadar hidrokarbon dalam masing-masing reaktor uji dilakukan dengan uji statistik Anova *Two way*. Uji statistik Anova *Two way* dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel bebas (jenis sampah organik dan komposisi tanah tercemar *crude oil* dan sampah organik) terhadap variabel terikat (tingkat penyisihan

kadar hidrokarbon). Uji statistik Anova *Two way* dalam penelitian ini menggunakan software Minitab 16. Uji Anova *Two way* bertujuan untuk mengetahui signifikansi dari masing-masing variabel. Hasil uji Anova *Two way* ini menunjukkan variabel manakah yang paling berpengaruh terhadap efisiensi penurunan kadar hidrokarbon pada *co-composting* tanah tercemar *crude oil*.

Uji statistik Anova *Two way* ini memiliki tingkat kepercayaan 95%. Pada penelitian di laboratorium tingkat kesalahan yang masih diterima adalah sebesar 5% (Kuswadi dan Mutiara, 2004). Pengaruh yang signifikan dalam uji statistik ditunjukkan dengan P-value yang lebih kecil dari 0,05 ($P < 0,05$). Nilai P-value $< 0,05$ menunjukkan bahwa variabel tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon, sebaliknya jika nilai P-value $> 0,05$ maka variabel tersebut tidak berpengaruh secara signifikan terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon pada *co-composting* tanah tercemar *crude oil*.

Ada tiga hipotesis awal pada analisis Anova *Two way*, yaitu:

- H_0 (a): tidak ada pengaruh variasi jenis sampah terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon
- H_0 (b): tidak ada pengaruh variasi komposisi tanah dan sampah terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon
- H_0 (c): tidak ada pengaruh interaksi antara variasi jenis sampah dan variasi komposisi tanah dan sampah terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon

Selanjutnya dilakukan uji statistik Anova *Two way* signifikansi dengan melihat nilai P untuk mengetahui seberapa besar pengaruh jenis sampah, komposisi, dan interaksi keduanya terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon. Dari hasil analisis didapatkan:

- Untuk H_0 (a) nilai $P > 0,05$ ($P = 0,702$) maka gagal tolak H_0 (a) sehingga tidak ada pengaruh signifikan variasi jenis sampah terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon
- Untuk H_0 (b) nilai $P > 0,05$ ($P = 0,142$) maka gagal tolak H_0 (b) sehingga tidak ada pengaruh signifikan variasi komposisi tanah dan sampah terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon

- Untuk H_0 (c) nilai $P > 0,05$ ($P = 0,06$) maka gagal tolak H_0 (c) sehingga tidak ada pengaruh signifikan interaksi antara variasi jenis sampah dan variasi komposisi tanah dan sampah terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon

Berdasarkan hasil analisa uji statistik Anova *Two way* dari nilai P didapatkan hasil bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan variasi jenis sampah, variasi komposisi tanah dan sampah, dan interaksi antara variasi jenis sampah dan variasi komposisi tanah dan sampah terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon. Berdasarkan hasil uji Anova *Two way* dapat dilihat bahwa pada ketiga jenis sampah, kadar hidrokarbon terkecil adalah komposisi tanah dan sampah 50:50. Kadar hidrokarbon terkecil di akhir *co-composting* adalah reaktor S/R50 dengan jenis sampah campuran sampah kebun dan rumen sapi dengan komposisi tanah dan sampah organik 50:50. Hal ini disebabkan adanya senyawa *compost humic acid-like* (cHAL) yang berperan sebagai surfaktan (*natural surfactant*) yang dapat meningkatkan desorpsi hidrokarbon dari matriks tanah dan dihasilkan dari sampah yang berasal dari kayu yang mengandung lignin (Mizwar dan Trihadiningrum, 2016). Pada reaktor S/R50 mengalami tingkat desorpsi (pelepasan) hidrokarbon dari matriks tanah pada hari ke-20 yaitu 22,58%. Penambahan kedua jenis sampah dapat menurunkan kadar hidrokarbon dalam jumlah besar pada awal *co-composting*. Penambahan campuran kedua jenis sampah tersebut dalam *co-composting* juga telah didasarkan pada perhitungan C/N rasio secara teoritis sehingga C/N awal memenuhi standar pengomposan. Selain itu, penambahan campuran kedua bahan sampah organik tersebut dapat memperkecil penggunaan masing-masing jenis sampah dalam *co-composting*. Pada reaktor S/R50 digunakan sampah rumen sapi lokal dan sampah kebun masing-masing dalam jumlah yang kecil walaupun pada penambahan sampah organik 50%. Penambahan sampah rumen sapi lokal dalam jumlah besar dalam pengaplikasiannya lebih sulit, terbatas karena jumlah RPH di Bojonegoro hanya ada 4 buah dan lokasinya jauh dari lokasi tambang minyak rakyat apabila tanah yang tercemar sangat luas, dan bau sampah RPH yang sangat menyengat dan mengganggu estetika.

Reaktor S/R50 dipilih sebagai reaktor dengan penyisihan hidrokarbon yang paling baik karena beberapa pertimbangan tersebut walaupun reaktor RS50 memiliki laju penyisihan hidrokarbon terbaik. Namun, pemilihan reaktor S/R50 sebagai reaktor terbaik juga berdasarkan pertimbangan lain yang telah dijelaskan di atas dan hasil dari uji statistik yang telah dilakukan. Oleh karena itu, penambahan sampah kebun atau campuran sampah kebun dan rumen sapi lokal berpengaruh signifikan terhadap penyisihan hidrokarbon pada *co-composting*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, maka dapat ditentukan kesimpulan penelitian sebagai berikut :

1. Kadar hidrokarbon pada sampel tanah tercemar *crude oil* yang berasal dari pertambangan minyak bumi rakyat Wonocolo, Bojonegoro adalah sebesar 6,05%. Kadar tersebut melebihi baku mutu berdasarkan Kepmen LH No. 128 tahun 2003 yaitu sebesar 1%.
2. Hidrokarbon dapat disisihkan dengan metode *co-composting* aerobik menggunakan sampah organik *biodegradable* yang berasal dari kebun dan rumah potong hewan (RPH) berupa rumen sapi lokal dengan efisiensi penyisihan sebesar 33,32% pada reaktor dengan komposisi tanah dan campuran sampah kebun dan rumen sapi (50:50) yaitu reaktor S/R50 pada hari ke-60 *co-composting*.
3. Jenis sampah organik yang menghasilkan efisiensi penyisihan hidrokarbon yang paling besar pada tanah tercemar *crude oil* dengan metode *co-composting* aerobik adalah campuran antara tanah dengan sampah kebun dan rumen sapi lokal (50:50). Hidrokarbon dapat disisihkan dari 5,37% menjadi 2,77% setelah 60 hari *co-composting*. Namun kadar hidrokarbon tersebut masih melebihi baku mutu berdasarkan Kepmen LH No. 128 tahun 2003 yaitu sebesar 1%. hal ini juga berdasar pada hasil uji statistik Anova *Two way* yaitu tidak ada pengaruh variasi jenis sampah, variasi komposisi tanah dan sampah, dan interaksi keduanya terhadap tingkat penyisihan kadar hidrokarbon ($P > 0,05$).

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait dengan identifikasi jenis bakteri yang aktif pada *co-composting* untuk meningkatkan efektivitas penyisihan hidrokarbon

2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait dengan pengaruh biosurfaktan yang dihasilkan oleh bakteri pada *co-composting* terhadap penyisihan hidrokarbon
3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait dengan pengaruh *compost humic acid-like* (cHAL) sebagai biosurfaktan pada *co-composting* terhadap penyisihan hidrokarbon

DAFTAR PUSTAKA

- Agarry, S. E., Owabor, C. N., dan Yusuf, R. O. (2010). Bioremediation of Soil Artificially Contaminated with Petroleum Hydrocarbon Oil Mixtures: Evaluation of The Use of Animal Manure and Chemical Fertilizer. *Bioremediation Journal*, 14 (4), 189-195.
- Ahmad, A., Khairat, dan Mailinda, T. (2012). Pengaruh Konsentrasi Nitrogen terhadap Pengomposan Serat Buah Sawit dengan Teknologi Biofertilizer. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*. 6 Maret 2012.
- Ali, M. 2012. *Tinjauan Proses Bioremediasi melalui Pengujian Tanah Tercemar Minyak*. Surabaya: UPN Press.
- Antizar-Ladislao, B., Lopez-Real, J., dan Beck, A. J. (2005). In Vessel Composting-Bioremediation of Aged Coal Tar Soil: Effect of Temperature and Soil/Green Waste Amendment Ratio. *Environmental International*, 31, 173-178.
- APHA, AWWA, dan WEF. 2005. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 21th Edition*. Washington D.C.: American Public Health Association.
- Atagana, H. I., Haynes, R. J., dan Wallis, F. M. (2003). Co-composting of Soil Heavily Contaminated with Cattle Manure and Mixed Vegetable Waste. *Soil and Sediment Contamination*, 12 (6), 889-899.
- Atagana, H. I. (2008). Compost Bioremediation of Hydrocarbon-Contaminated Soil Inoculated with Organic Manure. *African Journal of Biotechnology*, 7 (10), 1516-1525.
- Badan Standarisasi Nasional 1990. SNI. 03-1965-1990: Metode Pengujian Kadar Air Tanah.
- Balba, M. T., Al-Awadhi, N., dan Al-Daher, R. (1998). Bioremediation of Oil Contaminated Soil: Microbiological Methods for Feasibility Assesment and Field Evaluation. *Journal of Microbiological Methods*, 32,155-164.
- Baldan, E., Basaglia, M., Fontana, F., Shapleigh, J. P., dan Casella, S. (2015). Development, Assesment, and Evaluation of A Biopile for Hydrocarbons Soil Remediation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 98, 66-72.

- Beaudin, N., Caron, R. F., Legros, R., Ramsay, J., Lawlor, L., dan Ramsay, B. (1996). Co-composting of Weathered Hydrocarbon Contaminated Soil. *Compost Science and Utilization*, 4, 37-45.
- Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., dan Moral, R. (2009). Composting of Animal Manures and Chemical Criteria for Compost Maturity Assessment A Review. *Bioresource Technology*, 100, 5444-5453.
- Cahaya, A. 2008. *Pembuatan Kompos dengan Menggunakan Limbah Padat Organik (Sampah Sayuran dan Ampas Tebu)*. Semarang: UNDIP.
- Chijioko-Osuji, C. C., Ibegbulam-Njoku, P. N., dan Belford, E. J. D. (2014). Biodegradation of Crude Oil Polluted Soil by Co-Composting with Agricultural Wastes and Inorganic Fertilizer. *Journal of Natural Sciences Research*, 4 (6), 28-39.
- Cookson, J. 1995. *Bioremediation Engineering: Design and Application*. New York: Mc. Graw-Hill.
- Cooperband, L. 2002. *Building Soil Organic Matter with Organic Amendments*. Madison: Center for Integrated Agricultural Systems.
- Erickson, M., Critzer, F., dan Doyle, M. 2003. *Composting Criteria For Animal Manure*. Georgetown University: Produce Safety Project.
- Eweis, E., Chans, dan Schoeder. 1998. *Bioremediation Principle*. Boston: Mc. Graw-hill.
- Fitri, S. N. A., Jayanti, C. S., dan Budianta, D. (2012). Dinamika Mikrobial dari berbagai Bahan Organik yang Didekomposisi menjadi Kompos. *Agria*, 7 (2), 208-217.
- Gajalakshmi, S. dan Abbasi, S. A. (2008). Solidwaste Management by Composting: State of The Art. *Environmental Science Technology*, 38, 311-400.
- Gaudy, A. F. dan Gaudy, E. T. 1980. *Microbiology for Environmental Scientists and Engineers*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., dan Shen, Y. (2012). Effect of Aeration Rate, C/N Ratio and Moisture Content on The Stability and Maturity of Compost. *Bioresource Technology*, 112, 171-178.

- Halifah, S. A. 2012. *Pencemaran Tanah dan Dampaknya terhadap Lingkungan*. Pontianak: Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Tanjungpura.
- Hanafi, Y., Yulipriyanto, dan Octavia B. (2014). Pengaruh Penambahan Air Lindi terhadap Laju Dekomposisi Sampah Daun yang Dikomposkan dalam Vessel. *Jurnal Bioedukatika*, 2 (2), 28-33.
- Handrianto, P., Rahayu, S. Y., dan Yuliani. (2012). Teknologi Bioremediasi dalam Mengatasi Tanah Tercemar Hidrokarbon. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa 2012*, Surabaya: FMIPA Universitas Negeri Surabaya, 25 Februari 2012, hal. 22-30.
- Hapsari, P. P dan Trihadiningrum, Y. 2014. *Pengolahan Lumpur Berminyak dengan Metode Co-composting*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
- Harmita. (2004). Petunjuk Pelaksanaan Validasi Metode dan Cara Perhitungannya. *Majalah Ilmu Kefarmasian*, 1 (3),117-135.
- Ismayana, A., Indrasti, N.S., Suprihatin, A., Maddu, A., dan Fredy. (2012). Faktor Rasio C/N Awal dan Laju Aerasi pada Proses *Co-Composting* Bagasse dan Blotong. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 22 (3), 173-179.
- Jorgensen, K. S., Puustinen, J., Suortti, A. M. (2000). Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soil by Composting in Biopiles. *Environmental Pollution*, 107, 245-254.
- Juliani, A. dan Rahman, F. (2011). Bioremediasi Lumpur Minyak (*Oil Sludge*) dengan Penambahan Kompos sebagai *Bulking Agent* dan Sumber Nutrien Tambahan. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 3 (1), 1-18.
- Karwati. 2009. *Degradasi Hidrokarbon pada Tanah Tercemari Minyak Bumi dengan Isolat A10 dan D8*. Bogor: Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- Kasmidjo, R. B. 1990. *Penanganan Limbah Pertanian, Perkebunan, dan Industri Pangan*. Yogyakarta: UGM Press.
- Kementerian Lingkungan Hidup. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003 Tentang Tata Cara dan

- Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi secara Biologis.
- Kirk, J. L., Beaudette, L. A., Hart, M., Moutoglis, P., Klironomos, J. N., Lee, H., dan Trevors, J. T. (2004). Methods of Studying Soil Microbial Diversity. *Journal of Microbiological Methods*, 58, 169-188.
- Kuswadi dan Mutiara, E. 2004. *Statistik Berbasis Komputer untuk Orang-Orang Statistik*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Liu, P. G., Chang, T. C., Whang, L. M., Kao, C. H., Pan, P. T., dan Cheng, S. S. (2011). Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soil: Effects of Strategies and Microbial Community Shift. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65, 1119-1127.
- Ma, Y., Zhang, J. Y., dan Wong, M. H. (2003). Microbial Activity During Composting of Anthracene-Contaminated Soil. *Chemosphere*, 52, 1505-1513.
- Margaret. 2008. *Peningkatan Kelarutan Zat Padat dalam Cair*. Jakarta: FMIPA, Universitas Indonesia.
- Margesin, F. dan Schinner, F. 2005. *Manual of Soil Analysis: Monitoring and Assessing Soil Bioremediation*. Innsbruck, Austria: Springer.
- Mari, I., Ehaliotis, C., Kotsou, M., Chatzipavlidis, I., dan Georgakakis, D. (2005). Use of Sulfur to Control pH in Composts Derived from Olive Processing by Products. *Compost Science Util.*, 13, 281-287.
- Marin, J. A., Moremo, J. L., Hernandez, T., dan Garcia, C. (2006). Bioremediation by Composting of Heavy Oil Refinery Sludge in Semiarid Conditions. *Biodegradation*, 17, 251-261.
- Michael, R. (2003). Production of High-quality Composts for Horticultural Purposes: A Mini-review. *Hort Technology*, 15 (1), 52-57.
- Miller, F. C. (1992). Composting as A Process Based on The Control of Ecologically Selective Factors. *Metting F. B. Jr. (Ed), Soil Microbial Ecology, Applications in Agricultural and Environmental Management*, New York: Marcel Dekker, Inc, Hal. 515-544.
- Mizwar, A., dan Trihadiningrum, Y. 2016. *Penyisihan Polycyclic Aromatic Hydrocarbons pada Tanah Terkontaminasi Batubara*

- dengan Metode Co-composting. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
- Moretto, L. M., Silvestri, S., Ugo, P., Zorzi, G., Abbondanzi, F., Baiocchi, C., dan Lacondini, A. (2005). Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Degradation by Composting in A Soot-Contaminated Alkaline Soil. *Journal of Hazardous Materials*, 126, 141-148.
- Mujab, A. S. 2011. Penggunaan Biokompos dalam Bioremediasi Lahan Tercemar Limbah Lumpur Minyak Bumi. Jakarta: Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah.
- Mulyadi, A. 2008. *Karakteristik Kompos dari Bahan Tanaman Kaliandra, Jerami Padi, dan Sampah Sayuran*. Bogor: Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Namkoong, W., Hwang, E., Park, J., dan Choi, J. (2002). Bioremediation of Diesel-Contaminated Soil with Composting. *Environmental Pollution*, 119, 23-31.
- Naumi, R. N. dan Trilaksana, A. (2015). Pertambangan Minyak Tradisional di Desa Wonocolo, Kecamatan Kedewan, Kabupaten Bojonegoro Tahun 1970-1987. *Jurnal Pendidikan Sejarah*, 3 (1), 135-146.
- Nolan, T., Troy, S. M., Healy, M. G., Kwapinski, W., Leahy, J. J., Lawlor, P. G. (2011). Characterization of Compost Produced from Separated Pig Manure and A Variety of Bulking Agents at Low Initial C/N Ratios. *Bioresource Technology*, 102, 7131-7138.
- Pacwa-Plonciniczak, M., Plaza, G. A., Piotrowska-Seget, Z., dan Cameotra, S. S. (2011). Environmental Applications of Biosurfactants: Recent Advances. *International Journal of Molecular Sciences*, 12 (1), 633-654.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2000. Peraturan Pemerintah No. 150 Tahun 2000 Tentang Pengendalian Kerusakan Tanah untuk Produksi Biomassa.
- Quagliotto, P., Montoneri, E., Tambone, F., Adani, F., Gobetto, R., dan Viscardi, G. (2006). Chemicals from Wastes: Compost-Derived Humic Acid-like Matter as Surfactant, *Environmental Science & Technology*, 40 (5), 1686-1692.

- Quagliotto, P., Viscardi, G., Montoneri, E., Gobetto, R., Adani, F., dan Tambone, F. (2005), Compost Humic Acid-Like Matter As Surfactant, *Geophysical Research Abstracts*, 7, 1-5.
- Rais, I. R. (2014). Ekstraksi Androgafolid dari *Andrographis paniculata* (Burm. F.) Nees Menggunakan Ekstraktor Soxhlet. *Pharmaciana*, 4 (1), 85-92.
- Ratnawati, R., dan Trihadiningrum, Y. 2016. *Teknologi Pengomposan Limbah Padat Rumah Potong Hewan*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
- Salimin, Z. dan Rachmadetin, J. (2011), Denitrifikasi Limbah Radioaktif Cair Yang Mengandung Asam Nitrat Dengan Proses Biooksidasi, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX, Cilegon: Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Sari, G. L., Mizwar, A., dan Trihadiningrum, Y. (2015). Pengaruh Tanah terhadap Proses Biodegradasi *Polycyclic Aromatic Hydrocarbon* (PAH) Pada Tanah Terkontaminasi Batubara. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 8 (1), 31-38.
- Sayara, T., Sarra, M., dan Sanchez, A. (2010). Effect of Compost Stability and Contaminant Concentration on The Bioremediation of PAHs-Contaminated Soil Through Composting. *Journal of Hazardous Materials*, 179, 999-1006.
- Sayara, T., Borrás, E., Caminal, G., Sarra, M., dan Sanchez, A. (2011). Bioremediation of PAHs-Contaminated Soil Through Composting: Influence of Bioaugmentation and Biostimulation on Contaminant Biodegradation. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65, 859-865.
- Semple, K. T., Reid, B. J., dan Fermor, T. R. (2001). Impact of Composting Strategies on The Treatment of Soils Contaminated with Organic Pollutants. *Environmental Pollution*, 112, 269-289.
- Sinaga, B. P., dan Trihadiningrum, Y. 2015. *Remediasi Tanah Terkontaminasi Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) dengan Penambahan Surfaktan pada Metode Co-Composting*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
- Sitorus, U. 2013. Respons Pertumbuhan Bibit Kakao (*Thebroma cacao* L.) terhadap Pemberian Abu Boiler dan Pupuk Urea

- pada Media Pembibitan. Medan: Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara.
- Stefanoff, J. G., dan Garcia Jr. (1995). Physical Conditioning to Enhance Bioremediation of Excavated Hydrocarbon Contaminated Soil at McClellan Air Force Base. *Environmental Progress*, 14 (2), 104-110.
- Suharni. 2008. *Mikrobiologi Umum*. Yogyakarta: Universitas Atmajaya Yogyakarta.
- Tarigan, D.D. (2001). Sagu Memantapkan Swasembada Pangan. *Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 23, 1–3.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., dan Vigil, S. A. 1993. *Integrated Solid Waste Management*. New York: McGraw-Hill.
- Tilley, E., Ulrich, L., Luethi, C., Reymond, P., dan Zurbruegg, C. 2014. *Compendium of Sanitation Systems and Technologies 2nd Revised Edition*. Duebendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- Trihadiningrum, Y. 2012. *Mikrobiologi Lingkungan*. Surabaya: ITS Press.
- U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). (2007). *SW-846, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, Chapter Four*. Cincinnati, OH: Author.
- Udiharto, M. 2005. *Pemanfaatan Bioreaktor untuk Penanggulangan Lumpur Berminyak*. Cepu: Yayasan Kesejahteraan Warga Migas.
- Van Gestel, K., Mergaert, J., Swings, J., Coosemans, J., dan Ryckeboer J. (2003). Bioremediation of Diesel Oil-Contaminated Soil by Composting with Biowaste. *Environmental Pollution*, 125, 361-368.
- Wang, Z., Xu, Y., Zhao, J., Li, F., Gao, D., dan Xing, B. (2011). Remediation of Petroleum Contaminated Soil Through Composting and Rhizosphere Degradation. *Journal of Hazardous Materials*, 190, 677-685.
- Zhang, J., Lin, X., Liu, W., Wang, Y., Zeng, J., dan Chen, H. (2012). Effect of Organic Wastes on The Plant-Microbe Remediation for Removal of Aged PAHs in Soil. *Journal of Environmental Sciences*, 24 (8), 1476-1482.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

KEBUTUHAN UDARA CO-COMPOSTING

Perhitungan Suplai Udara

Berdasarkan Tchobanoglous *et al.* (1993), komposisi sampah organik yaitu:

- C = 47,80%
- H = 6,00%
- O = 38,00%
- N = 3,40%

Data awal pada penelitian ini:

- Berat bahan baku kompos per reaktor = 1 kg
- Kelembapan = 50%
- Kandungan O₂ dalam udara = 23%
- Berat spesifik udara = 0,075 lb/ft³
- Asumsi :
 - Volatile Solid* (VS) = 0,93 x TS (*Total Solid*)
 - Biodegradable VS* (BVS) = 0,6 x VS
 - Efisiensi BVS = 95%

Maka diperoleh perhitungan sebagai berikut:

BM		Komposisi	Berat Asli	Kadar Air	Berat Kering	Komposisi berat	Moles	Moles Ratio (N→1)	
C	12,01	47,80%	1 Kg	50%	0,5 Kg	0,239 Kg	0,02	20	a
H	1,01	6,00%				0,03 Kg	0,03	30	b
O	16	38,00%				0,19 Kg	0,012	12	c
N	14,01	3,40%				0,017 Kg	0,001	1	d

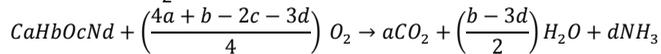
➤ *Mass of biodegradable volatile solids :*

$$\text{Mass BVS} = 1 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \times 2000 \frac{\text{lb}}{\text{ton}} \times 50\% \times 0,32 \times 0,6 = 0,558 \text{ lb}$$

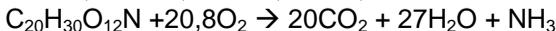
➤ *Konversi massa BVS :*

$$\text{BVS mass conversion} = 0,558 \text{ lb} \times 0,95 = 0,5301 \text{ lb}$$

➤ *Kebutuhan O₂ :*



$a = 20$; $b = 30$; $c = 12$; $d = 1$, maka



$$O_2 = \frac{476,51 \quad 664 \quad 880,2 \quad 864 \quad 17,04}{476,51 \text{ BVS Converted}} = 1,63 \frac{\text{lb } O_2}{\text{lb BVS Converted}}$$

- Kebutuhan udara
Kebutuhan udara

$$= \frac{0,5301 \text{ lb BVS} \times 1,395 \frac{\text{lb } O_2}{\text{lb BVS Converted}}}{0,23 \frac{\text{lb } O_2}{\text{lb udara}} \times 0,075 \frac{\text{lb } O_2}{\text{ft}^3 \text{ udara}}}$$

$$= 42,822 \text{ ft}^3$$

- Kebutuhan kapasitas pengaliran udara

$$\text{Kebutuhan aerasi} = \frac{42,822 \text{ ft}^3 \times 1 \times \frac{0,35}{\text{hari}}}{1140 \frac{\text{menit}}{\text{hari}}} = 0,3 \frac{\text{L}}{\text{menit}}$$

Jadi kebutuhan aerasi pada proses aerobik adalah 0,3 L/menit/reaktor yang dibulatkan menjadi 0,5 L/menit/reaktor

LAMPIRAN B

PROSEDUR ANALISIS

B.1 Prosedur Analisis Suhu

Prosedur kerja analisis :

1. Masukkan termometer ke bagian tengah reaktor kompos
2. Diamkan beberapa saat hingga termometer menunjukkan suhu yang stabil dan tepat
3. Ukur suhu ruangan tempat reaktor kompos diletakkan
4. Diamkan beberapa saat hingga termometer menunjukkan suhu yang stabil dan tepat
5. Catat suhu dalam reaktor kompos dan suhu ruang yang ditunjukkan oleh termometer

B.2 Prosedur Analisis Derajat Keasaman (pH)

Peralatan : Soil Tester Takamura DM-15

Prosedur kerja analisis :

1. Masukkan Soil Tester Takamura DM-15 ke bagian tengah kompos
2. Tekan tombol pengukuran pada Soil Tester Takamura DM-15 lalu tahan dan diamkan beberapa saat hingga Soil Tester Takamura DM-15 menunjukkan nilai pH yang stabil dan tepat
3. Catat pH yang ditunjukkan oleh Soil Tester Takamura DM-15

B.3 Prosedur Analisis Kadar Air

Peralatan : Soil Tester Takamura DM-15

Prosedur kerja analisis :

1. Masukkan Soil Tester Takamura DM-15 ke bagian tengah kompos
2. Tekan tombol pengukuran pada Soil Tester Takamura DM-15 lalu tahan dan diamkan beberapa saat hingga Soil Tester Takamura DM-15 menunjukkan nilai kadar air yang stabil dan tepat

3. Catat kadar air yang ditunjukkan oleh Soil Tester Takamura DM-15

B.4 Analisis Volume Udara dalam Tanah

Peralatan:

1. Cawan petri kecil
2. Cawan petri besar
3. Piknometer
4. Vacuum
5. Oven
6. Neraca analitik

Bahan:

1. Sampel tanah
2. Minyak tanah

Prosedur kerja analisis:

1. timbang cawan petri kosong dengan neraca analitik
2. catat berat cawan petri kosong
3. isi cawan petri kecil dengan sampel tanah hingga penuh dan ratakan dengan spatula besi
4. tuangkan isi sampel tanah dari cawan petri kecil ke cawan petri besar
5. timbang cawan petri besar + sampel tanah menggunakan neraca analitik. Catat hasil penimbangan sebagai berat cawan petri + berat basah sampel tanah
6. masukkan cawan petri berisi sampel tanah ke dalam oven 105°C selama 24 jam
7. ambil cawan petri + sampel tanah dari dalam oven dan masukkan ke dalam desikator selama 15 menit
8. timbang cawan petri + sampel tanah kering menggunakan neraca analitik. Catat hasil penimbangan sebagai berat cawan petri + berat kering sampel tanah
9. timbang piknometer kosong menggunakan neraca analitik
10. masukkan sampel tanah kering ke dalam piknometer
11. rendam dengan minyak tanah sampai seluruh sampel tanah terendam minyak selama 24 jam

12. vakum rendaman sampel sampai gelembung udara dalam rendaman hilang, kurang lebih 30 menit
13. penuh piknometer hingga batas kelarutan dengan minyak tanah
14. timbang berat piknometer + sampel tanah + minyak tanah menggunakan neraca analitik
15. ukur suhu piknometer+sampel tanah+minyak tanah dengan menggunakan termometer
16. timbang berat piknometer + minyak tanah menggunakan neraca analitik
17. ukur suhu piknometer+minyak tanah dengan menggunakan termometer
18. volume udara dalam tanah dapat diukur dengan menggunakan rumus dengan data-data tersebut

$$V = V_a + V_w + V_s$$

$$V_a = V - (V_w + V_s)$$

$$= V - \left(\frac{W_s \times WC}{\gamma_w} + V_s \right)$$

dengan,

W_s = berat tanah kering (gr)

WC = kadar air (%)

γ_w = faktor koreksi = 1

V = volume tanah total (cm³)

V_a = volume udara (cm³)

V_w = volume air (cm³)

V_s = volume butiran padat (cm³)

V_v = volume rongga pori (cm³)

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

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. K₂Cr₂O₇ 1 N
4. Perak sulfat

5. Larutan FAS 0,4 N

6. Indikator Feroin

Pembuatan Reagen :

a. 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

b. Perak sulfat

Digunakan langsung dari botolnya tanpa dituang ke *beaker glass*

c. 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.

d. 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 :

1. Timbang sampel sebanyak 0,5 gram yang telah diayak
2. Tambahkan aquades sebanyak 100 ml lalu masukkan ke dalam Erlenmeyer 250 ml
3. Ambil 1 ml larutan 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. Kemudian ditambahkan indikator feroin 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-organik (%) = $[0,003 \text{ g} \times N \times 100 \text{ ml} \times (1-T/S) \times 100] / ODW$
dengan:

T = mL FeSO₄ untuk titrasi sampel

S = mL FeSO₄ untuk titrasi blanko

N = Normalitas larutan FAS

ODW = berat kering sampel (g)



1 mL dari 1 N dikromat sama dengan 3 mg karbon

B.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 CuSO₄

Dibuat dengan mencampurkan 1,55 g CuSO₄ anhidrat, 96,9 g Na₂SO₄ anhidrat dan 1,55 g selen kemudian dihaluskan.

- b. H₂SO₄ pekat

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

- c. Nessler

Campur dan haluskan 50 gram serbuk HgI₂ 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

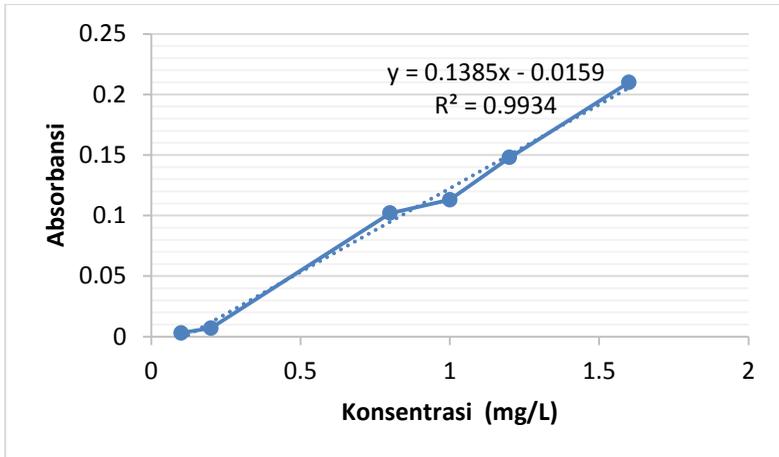
Larutkan 50 gram K.Na.Tartrat ke dalam 500 mL aquades, kemudian ditambahkan 5 mL larutan nessler sebagai pengawet.

Prosedur kerja analisis :

1. Timbang 0,2 gram sampel dengan timbangan analitis
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 Kjehdahl 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

Tabel B.1 Kalibrasi Spektrofotometer NH_4

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0.1	0.003
0.2	0.007
0.8	0.102
1	0.113
1.2	0.148
1.6	0.21



Gambar B.1 Kurva Kalibrasi NH₄

B.7 N dalam Nitrat (Metode Spektrofotometri)

Peralatan :

1. Neraca analitik
2. Pipet ukur 5 mL
3. Pipet ukur 10 mL
4. Labu Erlenmeyer 100 ml
5. Spektrofotometer

Bahan :

1. H₂SO₄ pekat
2. Brucin asetat 0,05 N

Pembuatan Reagen :

a. Brucine Asetat 0,5%

Larutkan 0,5 gram serbuk brucine dengan 100 mL acetic acid glacial (CH₃COOH) di dalam labu pengencer 100 mL, kocok hingga larut sempurna.

b. H₂SO₄ pekat

c. Larutan Standar Nitrat (100 ppm atau 100 mg/L)

Timbang dengan teliti 721,8 mg KNO₃ kemudian larutkan ke dalam aquades sebanyak 1 L di dalam labu pengencer 1 L.

Kalibrasi :

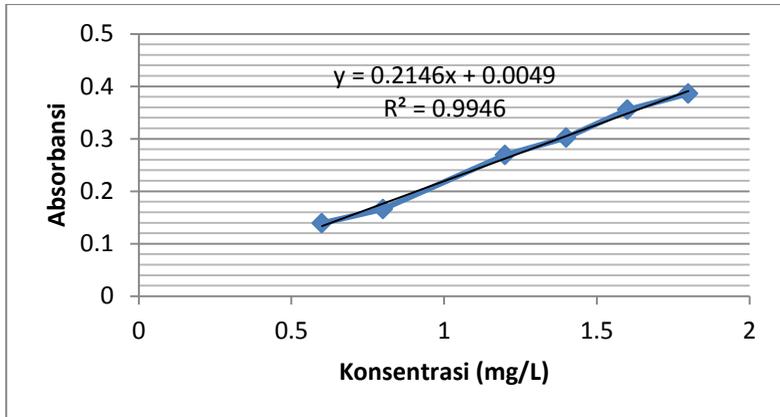
Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrat-nitrogen.

Prosedur kerja analisis :

1. Timbang 0,5 gram sampel dengan neraca analitik
2. Masukkan ke dalam labu pengencer 100 mL
3. Encerkan menjadi 100 mL dengan menggunakan aquades kemudian ambil 2 ml dan masukkan ke dalam labu erlenmeyer 100 ml
4. Tambahkan 2 ml brucin acetat
5. Tambahkan 4 ml H₂SO₄ pekat
6. Aduk dan didiamkan selama 10 menit
7. Baca dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang sesuai dengan hasil kalibrasi panjang gelombang yaitu 400 nm
8. Blanko yang digunakan adalah larutan sampel (tanpa reagen)
9. Hitung nilai nitrat dengan rumus dari kurva kalibrasi

Tabel B.2 Kalibrasi Spektrofotometer NO₃⁻

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0.6	0.139
0.8	0.166
1.2	0.269
1.4	0.302
1.6	0.355
1.8	0.386



Gambar B.2 Kurva Kalibrasi NO_3^-

B.8 Analisis Nitrit (Metode Spektrofotometri)

Peralatan :

1. Pipet ukur 10 mL
2. Labu erlenmeyer 100 mL
3. Labu pengencer 100 mL
4. Spektrofotometer

Bahan :

1. Sulfanic acid
2. Larutan NED

Pembuatan Reagen :

a. Sulfanic Acid

1 gram sulfanic acid ditambah 5 ml HCL pekat kemudian dilarutkan dalam aquades sampai 100 ml.

b. NED dihydrochloride

100 NED dihydrochloride kemudian larutkan dalam aquades sampai 100 ml

Kalibrasi :

Sebelum melakukan kalibrasi maka terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang maksimum untuk analisis nitrit-nitrogen.

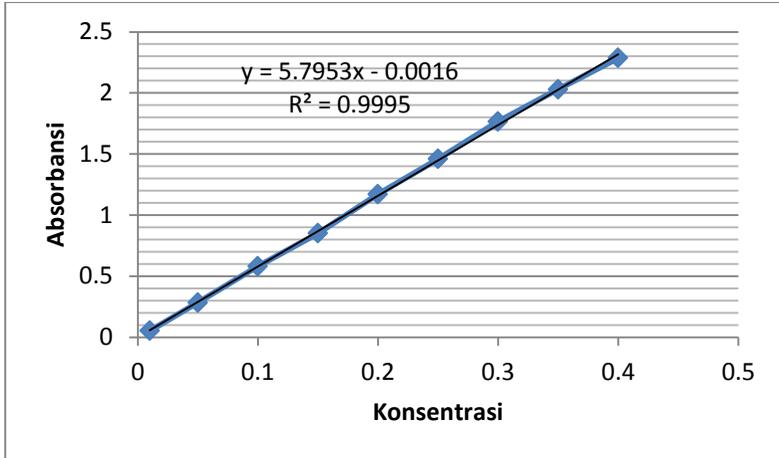
Prosedur kerja analisis :

1. Ditimbang sampel kompos dengan neraca analitik sebesar 0,5 gram

2. sampel diencerkan sampai 100 ml dengan aquades menggunakan labu pengencer 100 ml
3. diambil 25 ml larutan dengan gelas ukur dan dimasukkan ke erlenmeyer 250 ml
4. Tambahkan 0,5 ml sulfanic acid, kocok, lalu diamkan selama 2 menit
5. Tambahkan 0,5 ml larutan NED, diamkan selama 10 menit
6. Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang sesuai dengan hasil kalibrasi yaitu 520 nm
7. Blanko yang digunakan adalah aquades dengan penambahan reagen seperti pada sampel
8. Hasil absorbansi spektrofotometer diplotkan pada persamaan hasil kalibrasi

Tabel B.2 Kalibrasi Spektrofotometer NO_2^-

Konsentrasi (mg/L)	Absorbansi
0.01	0.052
0.05	0.283
0.1	0.58
0.15	0.85
0.2	1.17
0.25	1.459
0.3	1.766
0.35	2.029
0.4	2.286



Gambar B.2 Kurva Kalibrasi NO_2^-

B.9 Analisis Kadar Hidrokarbon (Ekstraksi Soxhlet)

Peralatan:

1. Peralatan ekstraksi soxhlet, dengan labu ekstraksi 125 ml
2. Tabung ekstraksi
3. Pemanas elektrik
4. *Vacuum pump*
5. Peralatan filtrasi *vacuum*
6. *Buchner funnel*, 12 cm
7. Kertas saring, diameter 11 cm
8. Piringan kain kassa, diameter 11 cm
9. *Glass beads/ glass wool*
10. *Water bath*, mampu menahan 85°C
11. *Distilling adapter* dengan tetesan di ujung
12. *Ice bath*
13. Wadah siap pelarut
14. Desikator
15. Neraca analitik

Bahan:

1. Asam klorida, HCl 1+1

2. n-Heksana: kemurnian minimum 85%, isomer C6 jenuh minimum 99%, residu kurang dari 1 mg/L, didistilasi jika perlu
3. *Diatomaceous-silica filter aid suspension*, 10 g/L air terdistilasi

Prosedur kerja analisis:

1. Labu ekstraksi kosong diambil dari dalam oven kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang dengan neraca analitik
2. Berat awal sampel ditimbang sebesar 5 gram dengan neraca analitik, kemudian dicatat hasil penimbangannya
3. Sampel dimasukkan ke dalam kertas saring yang sudah disteples dan dibentuk seperti bungkus
4. Kertas saring berisi sampel dimasukkan ke dalam *extraction thimble*. *Extraction thimble* berisi kertas saring dirangkai dengan labu ekstraksi kosong
5. *Extraction thimble* kosong diisi dengan 200 ml pelarut ekstraksi (n-heksan) sampai pelarut turun ke dalam labu ekstraksi
6. Peralatan ekstraksi soxhlet dirangkai
7. Minyak diekstraksi pada peralatan soxhlet pada *rate* 20 putaran/jam selama 4 jam. Waktu diukur dari putaran pertama. Ekstraksi dilakukan hingga pelarut dalam *thimble* bening
8. Ekstraksi dihentikan, dilanjutkan dengan distilasi pada *water bath* dengan suhu 85°C untuk memisahkan pelarut
9. Labu ekstraksi didinginkan dalam desikator hingga diperoleh berat konstan
10. Labu ekstraksi ditimbang menggunakan neraca analitik
11. Dihitung kandungan minyak (%) dengan rumus:

$$\text{Minyak (\%)} = \frac{\text{berat residu (hidrokarbon)}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

12. Dimasukkan 100 mL pelarut n-heksan ke dalam labu ekstraksi berisi minyak dan lemak lalu diaduk dan dicampur. Campuran minyak dan pelarut dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL
13. Ditimbang sebanyak 3 gram silica gel menggunakan neraca analitik. Silica gel dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi campuran minyak dan pelarut
14. Campuran minyak dan pelarut berisi silica di magnetic stirer selama 5 menit
15. Silica gel dibiarkan mengendap di bagian bawah erlenmeyer
16. Erlenmeyer kosong ditimbang menggunakan neraca analitik
17. Supernatan disaring menggunakan kertas saring dan corong kaca dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer kosong yang telah ditimbang
18. Erlenmeyer berisi supernatan hasil saringan di waterbath pada suhu 85°C untuk memisahkan pelarut
19. Erlenmeyer berisi hidrokarbon ditimbang dengan neraca analitik
20. Dihitung kandungan hidrokarbon (%) dengan rumus:

$$\text{Hidrokarbon (\%)} = \frac{\text{berat residu (hidrokarbon)}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

B.10 Analisis Total Populasi Bakteri (*Total Plate Count* (TPC))

Bahan:

1. Sampel air
2. 1 botol kosong yang steril
3. 6 cawan petri steril
4. 6 tabung agar tegak NA
5. 2 erlenmeyer 250 ml berisi 99 ml air fisiologis steril
6. 3 pipet 10 ml steril

Prosedur:

- A. Pembuatan Media Nutrient Agar (NA)
1. Diambil bubuk padatan NA dan ditimbang menggunakan neraca analitik sebanyak 2 gram.
 2. Bubuk padatan NA dilarutkan dengan aquadest hingga 100 mL di dalam *beaker glass*.
 3. NA cair dipanaskan di atas kompor listrik sambil diaduk-aduk hingga mendidih.
 4. NA cair dituangkan ke dalam 6 tabung reaksi kecil masing-masing sebanyak 10 mL.
 5. Mulut masing-masing tabung reaksi disumbat dengan kapas lemak dan keenam tabung reaksi dilabeli nama kelompok dan diikat karet dijadikan satu di dalam *beaker glass* 1000 mL lalu dibungkus kertas coklat dan dirapatkan dengan diikat karet.
 6. Media NA disterilisasi di dalam *autoclave* 121⁰C, 1 atm selama 15 menit, dan disimpan di laboratorium setelah disterilisasi.
- B. Pembuatan Larutan Pengencer NaCl
1. Diambil padatan NaCl dan ditimbang menggunakan neraca analitik sebesar 2,55 gram.
 2. Padatan NaCl dilarutkan dengan aquadest hingga 300 mL di dalam erlenmeyer 500 mL.
 3. Larutan NaCl dimasukkan ke dalam:
 - a. 2 tabung reaksi kecil, masing-masing sebanyak 9 mL.
 - b. 2 buah erlenmeyer 100 mL, masing-masing sebanyak 99 mL.
 - c. 1 buah erlenmeyer 100 mL, sebanyak 63 mL.
 4. Mulut tabung reaksi dan erlenmeyer berisi larutan NaCl disumbat dengan kapas lemak. Erlenmeyer dibungkus kertas coklat dan diikat karet serta diberi label.
 5. 6 buah cawan petri dibungkus dengan kertas coklat dan diberi label, lalu diikat karet dijadikan satu, 2 buah pipet juga dibungkus.
 6. Larutan NaCl dan cawan petri serta pipet volumetrik disterilisasi di dalam *autoclave* 121⁰C, 1 at, selama 15 menit. Dan disimpan di dalam laboratorium setelah disterilisasi.

- C. Inokulasi Biakan dengan Metode Pengenceran dan Pengamatan Biakan
1. Disiapkan peralatan dan media yang telah disterilisasi dan disiapkan juga sampel air.
 2. 6 buah tabung reaksi berisi media NA yang telah memadat dipanaskan di atas kompor listrik hingga NA mencair.
 3. Sementara media NA dicairkan, dilakukan pengenceran sampel kompos dengan larutan pengencer NaCl dengan pengenceran ($10^0 - 10^{-5}$) dan larutan diletakkan dalam cawan petri untuk tiap-tiap pengenceran.
 - a. Diambil air sampel 1 mL.
 - b. Diambil 1 mL dan 0,1 mL sampel dari erlenmeyer.
 - c. Diletakkan di dalam cawan sampel 1 mL/0,1 mL.
 4. Media NA yang telah mencair dituangkan ke dalam masing-masing cawan petri dan diratakan. Media dibiarkan memadat dan cawan ditutup lalu dilewatkan api bunsen.
 5. Setelah memadat, cawan dibungkus dengan kertas coklat dan diberi label kelompok serta tiap-tiap angka pengenceran. Kemudian dijadikan satu dengan diikat karet.
 6. Cawan berisi biakan diinkubasi pada inkubator 37°C selama 24 jam. Setelah 24 jam dilakukan pengamatan pada tiap biakan bakteri pada cawan yang berbeda angka pengenceran. Dihitung jumlah koloni menggunakan *bactery colony counter*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C HASIL ANALISIS

C.1 Hasil Analisis Kondisi Suhu

Kode Reaktor	Suhu (°C)																				
	Hari Ke-																				
	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20
T100	33	33	33	33	33	32	32	33.8	31	33	33	34	32	31	31	33	30	32	31	32	33
SK0	35	43.5	41	40	37	42	39	39.8	37	37	36	38	37	33	33	37	33	35	33	35	36
RS0	35	36.5	35	36	35	36	37	37.3	36	36	34	36	36	33	31	36	33	34	32	34	35
S/R 0	36	42	39	39	37	38	38	38.8	37	36	36	38	36	34	32	36	32	34	33	34	35
SK50	34	40	38	36	35	36	36	35.3	35	35	34	35	35	32	32	35	32	34	32	33	34
SK75	34	37.5	36	36	34	35	35	35.3	34	35	34	35	34	32	31	35	31	33	31	33	34
SK87	34	34.5	34	35	33	33	34	33.8	33	33	33	34	33	32	31	34	31	32	32	33	33
RS50	35	36	35	36	34	36	35	35.5	35	35	34	35	34	32	31	35	32	33	32	34	35
RS75	34	35.5	34	35	33	34	36	35.3	34	34	34	35	34	33	31	34	32	33	32	33	35
RS87	33	33.5	34	35	33	34	34	33.8	33	33	33	35	33	33	31	34	31	32	32	33	34
S/R 50	35	37	35	36	35	35	36	36	34	34	34	35	34	33	32	35	32	33	33	34	35
S/R 75	34	35	34	35	33	35	34	34.5	33	33	33	34	33	33	31	34	31	32	32	33	33
S/R 87	33	34.5	34	34	33	33	35	33.8	33	33	34	34	33	32	32	34	31	32	32	33	33
Suhu Ruang	34	33	33	34	33	33	33	31	31	32	32	33	32	31	31	33	31	32	31	33	33

Kode Reaktor	Suhu (°c)																			
	Hari Ke-																			
	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33	H34	H35	H36	H37	H38	H39	H40
T100	33	32	31	31	31	32	32	30.5	31	30	31	32	32	33	33	33	33	33	33	34
SK0	35	34	33	33	33	32	32	32	32	31	33	33	32	33	34	34	34	34	33	34
RS0	34	34	33	33	33	33	32	32	32	31	33	33	32	33	34	34	34	34	34	34
S/R 0	34	34	33	33	33	33	33	31.3	32	31	33	33	32	33	34	34	34	34	34	34
SK50	33	33	32	32	31	32	32	31	31	31	32	32	32	33	34	34	34	34	34	34
SK75	33	32.5	32	32	32	32	32	31	31	31	32	33	31	33	34	34	34	34	34	34
SK87	32	32	31	31	31	32	32	31	31	30	31	32	32	33	33	33	33	33	33	34
RS50	33	33	32	32	31	32	32	31	31	31	32	33	31	33	33	34	33	34	32	34
RS75	33	31.8	31	31	32	32	33	31	31	30	31	33	32	32	33	33	33	33	33	34
RS87	32	32	31	31	31	32	32	30.3	30	30	31	32	32	32	33	33	33	33	33	34
S/R 50	33	32.5	33	32	32	32	33	30.5	31	31	32	33	32	33	34	34	34	34	33	34
S/R 75	33	32	32	31	32	32	33	31	31	30	31	33	32	33	33	33	33	33	32	34
S/R 87	32	31.8	32	31	32	32	32	30.8	30	30	31	33	31	32	33	33	33	33	33	34
Suhu Ruang	32	32	31	30	32	32	32	31	31	31	32	33	33	32	32	32	32	32	33	34

Kode Reaktor	Suhu (°c)																			
	Hari Ke-																			
	H41	H42	H43	H44	H45	H46	H47	H48	H49	H50	H51	H52	H53	H54	H55	H56	H57	H58	H59	H60
T100	33	33.3	33	33	32	31	31	31	32	32	32	33	33	33	33	34	34	32	33	33
SK0	34	33.5	33	33	32	32	30	31	33	33	33	33	34	33	33	33	34	33	34	33
RS0	34	33.8	33	33	33	32	31	31	32	33	32	33	34	33	33	33	33	32	33	32
S/R 0	34	33.5	33	33	33	31	31	31	32	33	33	33	33	33	33	33	34	33	34	33
SK50	34	33.5	33	33	33	32	30	31	31	32	31	33	33	33	33	34	34	32	34	32
SK75	33	33.3	33	33	33	31	31	31	32	32	33	33	32	33	33	34	34	33	33	33
SK87	34	33.5	33	33	33	31	30	31	33	33	33	33	34	33	33	34	34	33	33	33
RS50	34	33.5	33	33	33	32	31	31.8	32	33	33	33	33	33	32	33	33	32	33	33
RS75	34	34	33	33	33	31	31	31	33	33	33	33	33	32	33	33	34	33	33	32
RS87	34	33.8	33	33	32	31	31	31.3	33	33	33	33	34	33	33	34	34	33	33	33
S/R 50	34	33.5	33	33	32	32	30	31.5	33	33	33	33	33	33	33	33	34	33	34	33
S/R 75	34	33.5	33	33	32	32	30	31.5	33	33	33	33	33	33	33	34	34	32	33	33
S/R 87	34	33.5	33	33	32	31	31	31	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Suhu Ruang	34	34	33	33	32	31	31	31	33	33	33	33	33	33	33	34	33	34	34	33

C.2 Hasil Analisis Kondisi pH

Kode Reaktor	pH																				
	Hari Ke-																				
	H0	H3	H6	H9	H12	H15	H18	H21	H24	H27	H30	H33	H36	H39	H42	H45	H48	H51	H54	H57	H60
T100	5.0	5.0	6.9	5.5	5.5	6.4	6.6	6.8	7.0	5.4	6.6	5.2	4.9	7.0	5.8	5.8	5.8	6.6	7.0	7.0	7.0
SK0	5.4	5.5	7.0	5.9	5.6	5.5	4.7	5.1	4.9	5.0	5.2	5.0	4.8	5.1	5.4	5.4	5.4	6.6	6.8	7.0	7.1
RS0	5.2	5.1	7.1	5.3	5.2	5.5	5.0	5.3	4.7	5.0	5.1	5.0	4.4	5.0	5.5	5.5	5.6	6.6	6.8	7.0	7.1
S/R 0	5.0	5.1	7.0	5.2	5.0	5.3	4.5	5.1	5.2	5.3	4.8	5.2	4.6	5.3	5.4	5.4	5.5	6.5	6.8	6.9	6.9
SK50	5.3	5.3	7.0	6.1	5.3	6.6	6.2	6.3	6.2	5.4	5.8	5.4	5.5	6.0	5.5	5.5	5.6	6.8	6.8	6.8	7.0
SK75	5.1	5.1	7.1	6.0	6.0	6.0	6.3	6.3	6.5	5.4	5.9	5.3	5.5	6.1	5.7	5.7	5.6	6.8	6.8	6.8	7.0
SK87	5.4	5.3	6.9	5.6	5.2	5.8	6.2	6.2	6.6	5.6	6.4	5.4	6.0	5.9	5.4	5.4	5.5	6.6	6.8	6.9	7.1
RS50	5.2	5.2	7.1	5.0	5.1	6.4	6.0	5.4	5.1	5.0	4.7	5.0	4.1	6.1	5.5	5.5	5.5	6.8	7.0	7.0	7.1
RS75	5.3	5.3	7.0	6.0	5.8	5.8	5.7	5.5	5.3	5.1	5.8	5.2	5.5	5.2	5.4	5.4	5.4	6.8	7.0	7.0	7.1
RS87	5.1	5.1	6.9	5.8	5.8	5.6	6.3	6.5	6.8	5.4	6.3	5.4	5.6	5.3	5.6	5.6	5.6	6.8	6.9	7.0	7.1
S/R 50	5.1	5.2	6.0	5.6	5.4	5.8	6.2	6.0	6.3	5.1	5.9	5.1	4.9	5.7	5.4	5.4	5.6	6.6	7.0	7.0	7.1
S/R 75	5.4	5.4	7.0	5.9	4.9	6.1	6.0	5.9	5.8	5.0	5.8	5.5	5.8	6.6	5.6	5.6	5.7	6.8	7.0	7.0	7.2
S/R 87	5.2	5.5	7.0	5.7	5.3	6.1	6.4	6.4	6.3	5.4	6.4	5.4	5.4	6.8	5.7	5.7	5.7	6.8	6.9	7.0	7.2

C.3 Hasil Analisis Kondisi Kadar Air

Kode Reaktor	Kadar Air (%)																				
	Hari Ke-																				
	H0	H3	H6	H9	H12	H15	H18	H21	H24	H27	H30	H33	H36	H39	H42	H45	H48	H51	H54	H57	H60
T100	60	63	58	56	60	60	55	60	60	53	60	55	59	50	50	50	50	53	50	53	60
SK0	54	59	59	54	58	58	59	55	60	60	55	60	60	58	58	60	58	55	50	53	60
RS0	58	60	57	56	55	58	60	57	58	60	59	60	60	60	58	55	58	60	60	58	57
S/R 0	63	58	60	59	60	60	60	54	59	55	56	55	60	60	60	60	58	58	55	53	60
SK50	55	58	58	56	55	57	53	58	57	54	57	50	58	50	58	55	55	55	53	58	60
SK75	59	58	55	56	57	55	55	58	59	53	60	53	59	50	53	55	55	53	53	53	60
SK87	54	56	60	60	60	60	59	58	57	50	60	53	60	50	60	60	60	55	53	50	55
RS50	56	58	60	60	60	60	59	56	56	60	60	60	60	53	58	60	60	55	50	53	55
RS75	57	60	60	60	60	58	59	54	57	59	57	54	60	51	60	60	58	50	50	52	57
RS87	59	58	56	56	55	57	52	60	58	53	60	50	59	50	53	55	58	53	50	52	60
S/R 50	59	60	59	56	58	57	59	58	60	58	60	58	60	55	58	58	58	58	53	54	56
S/R 75	54	63	58	56	55	57	55	60	60	60	60	50	60	53	53	53	53	50	55	55	60
S/R 87	58	63	58	55	55	60	51	59	59	53	57	50	60	50	53	53	53	50	53	55	60

C.4 Hasil Analisis Volume Udara dalam Reaktor

Kode Reaktor	Volume Udara dalam Reaktor (L/menit)						
	Hari Ke-						
	0	20		40		60	
T100	0.49	1.07	±2.95	0.80	±0.12	1.11	±0.03
SK0	0.71	0.97	±20.46	1.20	±0.01	1.12	±0.03
RS0	1.21	0.99	±25.20	1.15	±0.16	1.29	±0.01
S/R 0	0.75	1.08	±3.35	1.17	±0.01	1.26	±0.00
SK50	0.66	0.98	±3.78	1.15	±0.08	1.19	±0.02
SK75	0.65	1.09	±1.42	0.84	±0.23	1.13	±0.01
SK87	0.57	1.13	±2.91	1.20	±0.08	1.04	±0.02
RS50	1.26	0.98	±86.87	1.09	±0.01	1.24	±0.01
RS75	1.25	0.99	±0.37	1.18	±0.02	1.15	±0.13
RS87	0.63	1.15	±3.01	1.19	±0.37	1.14	±0.04
S/R 50	1.23	1.20	±2.37	0.90	±0.24	1.18	±0.08
S/R 75	0.66	1.04	±3.36	1.06	±0.01	1.15	±0.05
S/R 87	1.22	1.08	±1.22	1.14	±0.18	0.91	±0.10

C.5 Hasil Analisis Kondisi N-Nitrat

Kode Reaktor	N-NITRAT (%)						
	Hari Ke-						
	0	20		40		60	
T100	0.0042	0.0109	±0.0001	0.0073	±0.0044	0.0114	±0.0000
SK0	0.0212	0.0059	±0.0000	0.0043	±0.0000	0.0204	±0.0017
RS0	0.0209	0.0169	±0.0009	0.0298	±0.0105	0.0173	±0.0017
S/R 0	0.0119	0.0101	±0.0108	0.0126	±0.0011	0.0045	±0.0009
SK50	0.0165	0.0031	±0.0002	0.0099	±0.0000	0.0146	±0.0031
SK75	0.0077	0.0021	±0.0000	0.0099	±0.0036	0.0118	±0.0031
SK87	0.0111	0.0001	±0.0000	0.0145	±0.0028	0.0069	±0.0001
RS50	0.0206	0.0041	±0.0038	0.0233	±0.0049	0.0150	±0.0039
RS75	0.0088	0.0099	±0.0000	0.0161	±0.0001	0.0180	±0.0007
RS87	0.0100	0.0073	±0.0031	0.0103	±0.0029	0.0039	±0.0005
S/R 50	0.0124	0.0195	±0.0141	0.0134	±0.0021	0.0067	±0.0023
S/R 75	0.0082	0.0059	±0.0028	0.0043	±0.0024	0.0075	±0.0089
S/R 87	0.0101	0.0180	±0.0095	0.0020	±0.0022	0.0013	±0.0011

C.6 Hasil Analisis Kondisi N-Nitrit

Kode Reaktor	N-NITRIT (%)						
	Hari Ke-						
	0	20		40		60	
T100	0.0001	0.00003	±0.0000	0.00003	±0.0000	0.00017	±0.0001
SK0	0.0002	0.00013	±0.0000	0.00011	±0.0000	0.00047	±0.0003
RS0	0.0006	0.00073	±0.0000	0.00064	±0.0001	0.00086	±0.0001
S/R 0	0.0007	0.00038	±0.0001	0.00026	±0.0000	0.00033	±0.0001
SK50	0.0001	0.00025	±0.0000	0.00032	±0.0000	0.00027	±0.0000
SK75	0.0001	0.00015	±0.0000	0.00020	±0.0000	0.00015	±0.0001
SK87	0.0000	0.00013	±0.0000	0.00015	±0.0001	0.00059	±0.0007
RS50	0.0004	0.00093	±0.0001	0.00142	±0.0000	0.00075	±0.0001
RS75	0.0003	0.00061	±0.0000	0.00115	±0.0003	0.00147	±0.0004
RS87	0.0002	0.00026	±0.0001	0.00066	±0.0000	0.00034	±0.0000
S/R 50	0.0003	0.00030	±0.0000	0.00036	±0.0000	0.00061	±0.0000
S/R 75	0.0001	0.00018	±0.0000	0.00022	±0.0000	0.00070	±0.0002
S/R 87	0.0001	0.00011	±0.0000	0.00017	±0.0001	0.00045	±0.0001

C.7 Hasil Analisis Kondisi N-TKN

Kode Reaktor	N-TKN (%)							
	Hari Ke-							
	0		20		40		60	
T100	0.59	0.32	±0.0537	1.99	±0.0241	0.59	±0.3838	
SK0	1.99	2.82	±0.2235	2.79	±0.1941	2.82	±0.3277	
RS0	1.67	2.90	±0.3594	2.67	±0.2195	2.52	±0.0417	
S/R 0	1.89	3.21	±0.5681	3.51	±0.4810	3.75	±1.3089	
SK50	1.17	1.03	±0.1799	2.83	±0.0380	2.55	±0.1698	
SK75	1.48	0.48	±0.2858	2.65	±0.1004	2.35	±0.2161	
SK87	0.59	0.43	±0.0033	1.69	±0.2288	2.28	±0.3667	
RS50	1.15	1.65	±0.2849	1.64	±0.0172	3.03	±0.1948	
RS75	1.43	0.97	±0.3081	0.75	±0.0828	0.56	±0.0772	
RS87	0.62	0.64	±0.0391	0.44	±0.0802	0.72	±0.2360	
S/R 50	0.69	2.54	±0.7297	3.30	±0.0696	1.49	±0.1048	
S/R 75	0.73	2.51	±0.0598	2.50	±0.0752	1.01	±0.2183	
S/R 87	0.96	2.27	±0.0601	2.48	±0.3796	1.10	±0.1595	

C.8 Hasil Analisis Kondisi N-Total

Kode Reaktor	N-Total (%)							
	Hari Ke-							
	0		20		40		60	
T100	0.60	0.33	±0.0538	2.01	±0.0044	0.60	±0.3838	
SK0	2.02	2.83	±0.2236	2.66	±0.0000	2.84	±0.3263	
RS0	1.69	2.92	±0.3585	2.55	±0.0105	2.54	±0.0433	
S/R 0	1.91	3.22	±0.5790	3.87	±0.0010	3.75	±1.3081	
SK50	1.19	1.03	±0.1797	2.87	±0.0000	2.57	±0.1667	
SK75	1.49	0.48	±0.2858	2.73	±0.0036	2.36	±0.2130	

Kode Reaktor	N-Total (%)						
	Hari Ke-						
	0	20		40		60	
SK87	0.60	0.43	±0.0032	1.87	±0.0027	2.29	±0.3661
RS50	1.18	1.65	±0.2810	1.66	±0.0049	3.04	±0.1910
RS75	1.43	0.98	±0.3081	0.71	±0.0002	0.58	±0.0761
RS87	0.63	0.65	±0.0421	0.40	±0.0029	0.72	±0.2354
S/R 50	0.70	2.56	±0.7155	3.26	±0.0021	1.50	±0.1071
S/R 75	0.74	2.51	±0.0569	2.45	±0.0025	1.02	±0.2096
S/R 87	0.97	2.29	±0.0695	2.21	±0.0021	1.10	±0.1584

C.9 Hasil Analisis Kondisi C-Organik

Kode Reaktor	C-Organik (%)						
	Hari Ke-						
	0	20		40		60	
T100	14.00	5.94	±2.94	5.54	±3.27	5.54	±6.53
SK0	42.55	14.11	±7.56	11.92	±0.28	5.54	±0.00
RS0	38.00	16.56	±1.25	6.92	±1.61	11.07	±6.54
S/R 0	22.86	15.38	±0.05	10.15	±3.26	8.30	±3.29
SK50	35.20	11.11	±3.08	8.76	±4.90	2.76	±3.27
SK75	24.00	11.88	±0.36	9.23	±6.53	5.51	±12.97
SK87	28.57	10.99	±3.17	10.15	±0.00	3.67	±6.48
RS50	14.88	13.62	±0.21	8.28	±3.28	4.60	±3.20
RS75	21.33	14.06	±1.37	10.51	±1.51	5.51	±6.45
RS87	16.00	15.35	±0.10	10.03	±0.08	3.69	±6.53
S/R 50	24.00	15.32	±5.94	10.03	±0.03	3.68	±0.02
S/R 75	22.33	13.63	±0.02	9.17	±0.08	4.58	±3.16
S/R 87	29.77	15.77	±7.52	5.05	±1.69	4.60	±3.20

C.10 Hasil Analisis Kondisi Rasio C/N

Kode Reaktor	Rasio C/N							
	Hari Ke-							
	0	20		40		60		
T100	23.37	18.44	±16.32	2.75	±1.64	9.81	±4.80	
SK0	21.12	5.05	±3.67	4.48	±0.11	1.96	±0.56	
RS0	22.48	5.72	±2.18	2.72	±0.61	4.36	±2.39	
S/R 0	11.99	4.86	±2.20	2.62	±0.84	2.29	±1.12	
SK50	29.61	11.06	±7.81	3.05	±1.71	1.09	±1.45	
SK75	16.14	29.83	±44.76	3.38	±2.38	2.24	±4.98	
SK87	47.87	25.47	±6.88	5.43	±0.02	1.53	±2.22	
RS50	12.66	8.36	±3.68	5.00	±1.95	1.53	±1.29	
RS75	14.88	15.22	±13.39	14.81	±2.12	9.33	±8.11	
RS87	25.31	23.63	±3.66	25.24	±0.66	4.79	±5.15	
S/R 50	34.40	6.37	±6.78	3.08	±0.01	2.46	±0.43	
S/R 75	30.23	5.43	±0.30	3.75	±0.02	4.47	±0.80	
S/R 87	30.53	6.88	±2.77	2.28	±0.77	4.32	±4.48	

C.11 Hasil Analisis Kondisi Total Populasi Bakteri

Kode Reaktor	Total Populasi Bakteri (CFU/gr)							
	Hari Ke-							
	0	20		40		60		
T100	4.26.E+07	3.53.E+11	±1.51.E+11	3.67.E+13	±2.83.E+13	4.357.E+15	±4.16.E+15	
SK0	6.52.E+10	1.40.E+14	±5.37.E+12	3.51.E+16	±2.50.E+16	9.025.E+18	±2.30.E+17	
RS0	5.13.E+10	1.98.E+12	±2.50.E+12	2.75.E+14	±7.14.E+12	1.315.E+16	±1.23.E+15	
S/R 0	1.76.E+10	1.11.E+12	±1.15.E+12	7.42.E+14	±1.66.E+14	1.639.E+16	±1.94.E+15	
SK50	1.16.E+11	4.59.E+11	±5.44.E+10	1.05.E+14	±8.46.E+13	2.061.E+15	±1.44.E+15	
SK75	5.63.E+10	1.62.E+11	±5.90.E+10	5.91.E+13	±5.36.E+12	3.876.E+15	±4.10.E+15	
SK87	3.11.E+11	1.77.E+12	±7.65.E+11	2.80.E+14	±8.29.E+13	3.678.E+16	±1.29.E+15	
RS50	1.48.E+10	1.35.E+11	±1.03.E+11	9.44.E+13	±9.01.E+13	2.244.E+15	±1.90.E+15	
RS75	1.34.E+10	5.09.E+11	±5.43.E+11	4.63.E+13	±6.92.E+12	8.411.E+15	±2.26.E+14	
RS87	9.12.E+09	6.86.E+10	±2.99.E+10	1.13.E+14	±5.28.E+13	3.574.E+15	±3.16.E+15	
S/R 50	3.03.E+10	3.67.E+11	±3.76.E+11	7.11.E+13	±9.62.E+11	2.184.E+15	±2.86.E+15	
S/R 75	1.62.E+10	1.35.E+11	±3.54.E+09	6.63.E+13	±6.95.E+13	6.018.E+15	±2.79.E+15	
S/R 87	1.12.E+12	8.14.E+11	±1.09.E+12	3.43.E+13	±1.34.E+13	2.844.E+15	±3.12.E+15	

C.12 Hasil Analisis Kadar Hidrokarbon

Kode Reaktor	Hidrokarbon (%)						
	Hari Ke-						
	0	20		40		60	
T100	6.05	7.97	±1.36	7.14	±0.89	6.42	±0.57
SK0	0.13	0.13	±0.01	0.12	±0.02	0.07	±0.04
RS0	0.08	0.65	±0.80	0.27	±0.12	0.08	±0.05
S/R 0	0.34	0.64	±0.76	0.19	±0.01	0.17	±0.01
SK50	5.40	4.90	±0.17	4.43	±0.62	3.64	±0.16
SK75	4.73	5.15	±0.09	4.74	±0.26	4.53	±0.15
SK87	5.00	5.93	±0.01	5.73	±0.04	5.35	±0.52
RS50	7.51	6.11	±1.15	4.13	±0.30	4.37	±0.18
RS75	5.16	4.33	±0.84	4.69	±0.53	4.60	±0.24
RS87	5.02	4.91	±1.04	4.82	±0.08	4.62	±0.01
S/R 50	4.16	5.37	±0.64	3.56	±1.16	2.77	±0.46
S/R 75	4.88	5.20	±0.27	5.21	±0.83	4.22	±0.30
S/R 87	5.04	5.51	±1.18	5.98	±0.17	5.41	±0.14

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D DOKUMENTASI

D.1 Dokumentasi Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Desa Wonocolo, Bojonegoro



**Gambar D.1.1 Kawasan Pertambangan Minyak Bumi Rakyat
Wonocolo**



**Gambar D.1.2 Sumur-sumur Minyak di Pertambangan Minyak Bumi
Rakyat Wonocolo**



Gambar D.1.3 Kondisi Sungai di Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo



Gambar D.1.4 Area Penyulingan Minyak di Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo



Gambar D.1.5 Sumur Minyak di Pertambangan Minyak Bumi Rakyat Wonocolo

D.2 Dokumentasi Pengambilan Sampel Tanah Tercemar *Crude Oil*



Gambar D.2.1 Pengambilan Sampel Tanah Kontrol



(a)



(b)



(c)

Gambar D.2.2 Pengambilan Sampel Tanah Tercemar *Crude Oil* (a) Pengambilan sampel tanah tercemar *crude oil* di area sumur minyak, (b) Pengambilan sampel tanah tercemar *crude oil* di jalur pengangkutan, dan (c) Pengambilan sampel tanah tercemar *crude oil* di area penyulingan

D.3 Dokumentasi Analisis Preparasi Awal Bahan Baku *Co-composting*



(a)



(b)

Gambar D.3.1 Analisis Ayakan Tanah Tercemar *Crude Oil* dengan Saringan 10 mesh (2 mm) (a dan b)



a



b

Gambar D.3.2 Analisis Pencacahan (a) dan Pengayakan (b) Sampah Organik



a



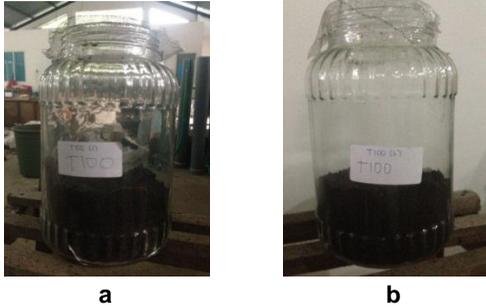
b

Gambar D.3.3 Sampah Organik Bahan Baku *Co-composting* setelah diayak (a) Sampah Kebun (b) Rumen Sapi Lokal



Gambar D.3.4 Pencampuran Bahan Baku *Co-composting* untuk Reaktor Kompos

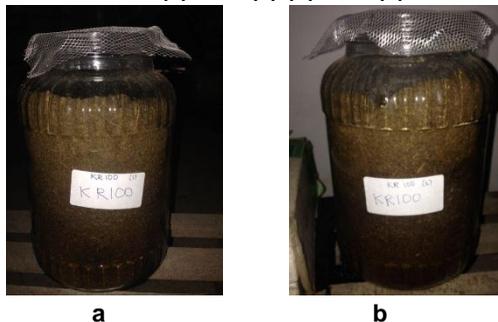
D.4 Reaktor-Reaktor Penelitian



Gambar D.4.1 Reaktor Kontrol Tanah 100% dan Duplonya (a) T100 (1) (b) T100 (2)



Gambar D.4.2 Reaktor Kontrol Sampah Kebun 100% dan Duplonya (a) SK0 (1) (b) SK0 (2)



Gambar D.4.3 Reaktor Kontrol Sampah RPH (rumen sapi lokal) 100% dan Duplonya (a) RS0 (1) (b) RS0 (2)



a



b

Gambar D.4.4 Reaktor Kontrol Campuran Sampah Kebun dan Rumen Sapi Lokal 100% dan Duplonya (a) S/R0 (1) (b) S/R0 (2)



a



b

Gambar D.4.5 Reaktor Uji 50% Tanah Tercemar : 50% Sampah Kebun dan Duplonya (a) SK50 (1) (b) SK50 (2)



a



b

Gambar D.4.6 Reaktor Uji 75% Tanah Tercemar : 25% Sampah Kebun dan Duplonya (a) SK75 (1) (b) SK75 (2)



a



b

Gambar D.4.7 Reaktor Uji 87,5% Tanah Tercemar : 12,5% Sampah Kebun dan Duplonya (a) SK87 (1) (b) SK87 (2)



a



b

Gambar D.4.8 Reaktor Uji 50% Tanah Tercemar : 50% Rumen Sapi Lokal dan Duplonya (a) RS50 (1) (b) RS50 (2)



a



b

Gambar D.4.9 Reaktor Uji 75% Tanah Tercemar : 25% Rumen Sapi Lokal dan Duplonya (a) RS75 (1) (b) RS75 (2)



a



b

Gambar D.4.10 Reaktor Uji 87,5% Tanah Tercemar : 12,5% Rumen Sapi Lokal dan Duplonya (a) RS87 (1) (b) RS87 (2)



a



b

Gambar D.4.11 Reaktor Uji 50% Tanah Tercemar : 50% Campuran Sampah Kebun+Rumen Sapi Lokal dan Duplonya (a) S/R50 (1) (b) S/R50 (2)



a



b

Gambar D.4.12 Reaktor Uji 75% Tanah Tercemar : 25% Campuran Sampah Kebun+Rumen Sapi Lokal dan Duplonya (a) S/R75 (1) (b) S/R25 (2)



a



b

Gambar D.4.13 Reaktor Uji 87,5% Tanah Tercemar : 12,5% Campuran Sampah Kebun+Rumen Sapi Lokal dan Duplonya (a) S/R87 (1) (b) S/R87 (2)

D.5 Langkah-Langkah Analisis Kadar Hidrokarbon

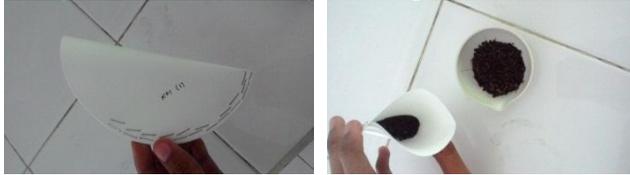
1. Labu ekstraksi kosong diambil dari dalam oven kemudian dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit lalu ditimbang dengan neraca analitik



2. Berat awal sampel ditimbang sebesar 5 gram dengan neraca analitik, kemudian dicatat hasil penimbangannya



3. Sampel dimasukkan ke dalam kertas saring yang sudah disteplek dan dibentuk seperti bungkus



4. Kertas saring berisi sampel dimasukkan ke dalam *extraction thimble*. *Extraction thimble* berisi kertas saring dirangkai dengan labu ekstraksi kosong



5. *Extraction thimble* kosong diisi dengan 200 ml pelarut ekstraksi (n-heksan) sampai pelarut turun ke dalam labu ekstraksi



6. Peralatan ekstraksi soxhlet dirangkai



7. Minyak diekstraksi pada peralatan soxhlet pada *rate* 20 putaran/jam selama 4 jam. Waktu diukur dari putaran pertama. Ekstraksi dilakukan hingga pelarut dalam thimble bening



8. Ekstraksi dihentikan, dilanjutkan dengan distilasi pada *water bath* dengan suhu 85°C untuk memisahkan pelarut



9. Labu ekstraksi didinginkan dalam desikator hingga diperoleh berat konstan



10. Labu ekstraksi ditimbang menggunakan neraca analitik

11. Dihitung kandungan minyak (%) dengan rumus:

$$\text{Minyak (\%)} = \frac{\text{berat residu (hidrokarbon)}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

12. Dimasukkan 100 mL pelarut n-heksan ke dalam labu ekstraksi berisi minyak dan lemak lalu diaduk dan dicampur. Campuran minyak dan pelarut dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL



13. Ditimbang sebanyak 3 gram silica gel menggunakan neraca analitik. Silica gel dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi campuran minyak dan pelarut



14. Campuran minyak dan pelarut berisi silica di magnetic stirrer selama 5 menit



15. Silica gel dibiarkan mengendap di bagian bawah erlenmeyer



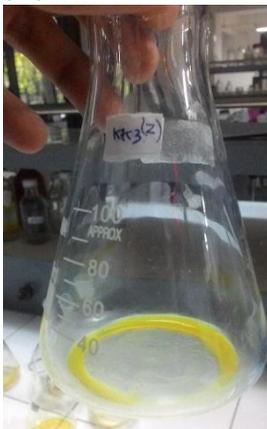
16. Erlenmeyer kosong ditimbang menggunakan neraca analitik
17. Supernatan disaring menggunakan kertas saring dan corong kaca dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer kosong yang telah ditimbang



18. Erlenmeyer berisi supernatan hasil saringan di waterbath pada suhu 85°C untuk memisahkan pelarut



19. Erlenmeyer berisi hidrokarbon ditimbang dengan neraca analitik



20. Dihitung kandungan hidrokarbon (%) dengan rumus:

$$\text{Hidrokarbon (\%)} = \frac{\text{berat residu (hidrokarbon)}}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

D.6 Hasil Uji Statistik Anova dengan Software Minitab 16

General Linear Model: hidrokarbon versus variasi jeni; variasi komp

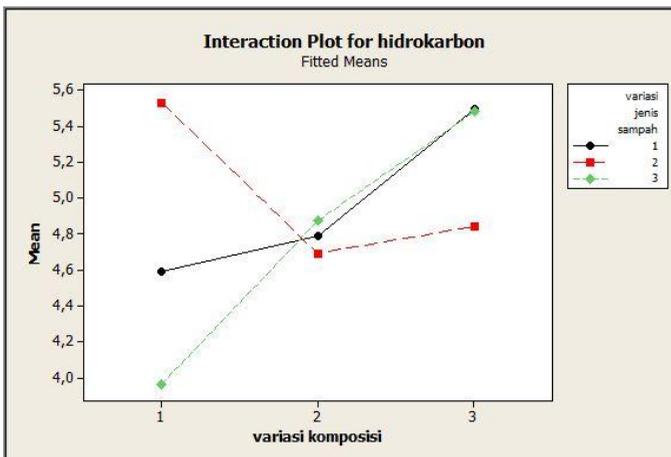
Factor	Type	Levels	Values
variasi jenis sampah	fixed	3	1; 2; 3
variasi komposisi	fixed	3	1; 2; 3

Analysis of Variance for hidrokarbon, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
variasi jenis sampah	2	0,4004	0,4004	0,2002	0,36	0,702
variasi komposisi	2	2,3429	2,3429	1,1715	2,10	0,142
variasi jenis sampah* variasi komposisi	4	5,7608	5,7608	1,4402	2,58	0,060
Error	27	15,0855	15,0855	0,5587		
Total	35	23,5896				

S = 0,747478 R-Sq = 36,05% R-Sq(adj) = 17,10%

Gambar D.6.1 Hasil Uji Anova Pada Ketiga Hipotesis terhadap Penyisihan Hidrokarbon



Gambar D.6.2 Grafik Pengaruh Variasi Jenis Sampah dan Komposisi Tanah dan Sampah terhadap Penyisihan Hidrokarbon



BIOGRAFI PENULIS

RIZKIY AMALIYAH BARAKWAN, lahir di Pasuruan, 29 Januari 1994. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Anak dari pasangan Ibu Dra. Anisah Aljufri dan Drs. Saleh Barakwan ini menempuh pendidikan formal di TK. R.A. Kartini PG. Kedawoeng, Pasuruan tahun 2000. Kemudian, Penulis melanjutkan pendidikan di SDN Kedawoeng Wetan 1, Pasuruan (2000-2006), SMPN 1 Kota Pasuruan (2006-2009), dan SMAN 1 Kota Pasuruan (2009-2012). Selepas lulus pada tahun 2012, penulis memasuki jenjang S-1 di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya melalui jalur Seleksi Ujian Tulis SNMPTN 2012. Motto penulis adalah **“Jangan pernah sombong ketika banyak kemudahan dan jangan pernah hilang harapan ketika banyak kesulitan”**.

Selama menempuh pendidikan kuliah penulis aktif di berbagai kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan, FTSP, ITS, asisten praktikum, samanizer (komunitas tari saman Teknik Lingkungan, FTSP, ITS), ITS Mengajar, dan Forum Al-Qurba Surabaya. Ketertarikannya dalam bidang sosial masyarakat membuat penulis menjadi salah satu panitia sekaligus peserta dalam acara ITS Mengajar for Indonesia (IFI) di Dusun Sawahan, Sidoarjo pada tahun 2013. Penulis juga memiliki hobi bersepeda, *travelling*, dan mencoba hal-hal baru. Penulis dapat dihubungi di via email di kikibarakwan@gmail.com, facebook: Rizkiy Amalia Barakwan, nomor: 0857-8560-1758, alamat: Dusun Bulak No. 31, Desa Kebonrejo, Kecamatan Grati, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur, 67184.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”