

Potensi Metode *Co-Composting* pada Bioremediasi Tanah Tercemar Pelumas Bekas Menggunakan Sampah Organik *Biodegradable*

Shafiyah Setianingsih dan Harmin Sulistiyaning Titah
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: harminsulis@gmail.com

Abstrak—Perawatan mesin khususnya di bengkel menghasilkan pelumas bekas rentan mencemari perairan dan tanah. Metode *co-composting* dapat diaplikasikan sebagai teknik bioremediasi tanah tercemar pelumas bekas karena cukup murah dan ramah lingkungan. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk menentukan kemampuan metode *co-composting* dalam menyisihkan *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) pada tanah tercemar pelumas bekas dengan penambahan sampah organik *biodegradable* serta menentukan jenis sampah organik *biodegradable* yang menghasilkan efisiensi penyisihan TPH terbaik pada bioremediasi tanah tercemar pelumas bekas dengan metode *co-composting*. Proses *co-composting* berlangsung selama 30 hari dengan penambahan bioaktivator EM4 kecuali reaktor T100 (kontrol) dalam skala laboratorium. Penelitian ini menggunakan reaktor plastik tebal berdimensi 44 cm x 30 cm x 11 cm. Pelumas bekas didapat dari Bengkel Dasyi Surabaya. Tanah tercemar dibuat artifisial konsentrasi 10% (b/b). Variasi penelitian meliputi rasio komposisi campuran tanah tercemar dengan sampah organik (T/S) sebanyak 1 kg berat basah (100/0, 50/50; dan 75/25) dan jenis (sampah daun ranting, rumen sapi, dan campuran keduanya). Hasil analisis menggunakan gravimetri menunjukkan kadar TPH dalam tanah tercemar pelumas bekas mencapai 6,05%. *Co-composting* berjalan dengan baik ditandai dengan optimalnya faktor-faktor pendukung yaitu suhu, pH, kadar air diukur setiap 3 hari sekali dan C-Organik, N-Nitrat, N-Nitrit, TKN dalam rasio C/N dianalisis setiap 10 hari sekali. Hasil penelitian penyisihan kadar TPH terbaik ditemukan pada reaktor DR/RS50 (T/S: 50/50 dengan jenis sampah campuran sampah daun ranting dan rumen sapi lokal). TPH yang tersisihkan yaitu dari 4,79% sampai 3,06% dengan efisiensi penyisihan sebesar 36,16%. Berdasarkan hasil uji statistik Anova *Two-way* diketahui tidak ada pengaruh signifikan variasi jenis sampah organik, variasi komposisi tanah dan sampah serta interaksi kedua variasi terhadap tingkat penyisihan TPH ($P>0,05$).

Kata Kunci—Bioremediasi, *Co-composting*, Sampah Daun Ranting, Sampah Rumen Sapi Lokal, *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH)

I. PENDAHULUAN

SEMAKIN banyak jumlah kendaraan maka semakin banyak pula jumlah sisa atau buangan pelumas bekas. Pelumas bekas ada yang di simpan dalam drum tempat penyimpanan dan ada juga pihak tidak bertanggung jawab membuang sembarangan ke badan air [1]. Komponen penyusun pelumas bekas sebagian besar mengandung *Total Petroleum Hydrocarbon* (TPH) [2]. TPH bersifat reaktif, mutagenik dan toksik sehingga mencemari perairan dan tanah sampai ke daerah *sub-surface* dan lapisan akuifer tanah, terdegradasinya struktur tanah serta bahaya bagi kesehatan manusia [3], [4]. Tanah yang terkontaminasi pelumas bekas

termasuk dalam kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) [5]. Oleh karena itu, hal ini menghasilkan ide untuk melakukan penelitian mengenai pengolahan tanah tercemar pelumas bekas. Menurut tafsir kontemporer Q.S. Ar-Rum ayat 41 juga sudah menjadi salah satu perintah berkewajiban melestarikan lingkungan hidup.

Salah satu teknik bioremediasi yang digunakan untuk menyisihkan TPH pada tanah tercemar pelumas bekas adalah *co-composting* [6]. Metode *co-composting* memiliki beberapa keunggulan diantaranya biaya kapital dan operasionalnya rendah, sederhana, dan memiliki efisiensi tinggi [7]. Proses *co-composting* dilakukan dengan mencampurkan tanah tercemar dengan bahan organik *biodegradable* sebagai nutrisi untuk menstimulasi aktivitas mikroorganisme hidrokarbonolastik [8]. Dengan demikian, *co-composting* juga dapat membantu memperbaiki sifat-sifat tanah [9].

Penambahan *Effective Microorganism-4* (EM4) diberikan karena dapat mempercepat proses pengomposan dan menghilangkan bau yang timbul selama proses pengomposan bila berlangsung dengan baik [10]. Berbagai penelitian membuktikan bahwa *co-composting* tanah tercemar dengan bahan organik mampu menyisihkan kadar TPH. Hasil *co-composting* tanah terkontaminasi TPH dengan pupuk dari kotoran sapi yang dicampur dengan sampah sayur menunjukkan penyisihan TPH sebesar 90% [11]. Penurunan TPH dalam tanah terkontaminasi sebesar 67,8% pada *co-composting* campuran antara tanah terkontaminasi dengan sampah kebun dengan rasio 1:1 [12].

Pada penelitian ini digunakan sampah daun ranting sebagai salah satu bahan campuran dalam proses *co-composting* karena memiliki kadar C yang tinggi dan baik untuk pengomposan [13]. Penggunaan sampah RPH berupa rumen sapi lokal karena kadar N dan P yang tinggi dapat diolah dengan pengomposan dan masih sedikitnya penelitian yang telah dilakukan [14]. Kombinasi keduanya juga digunakan untuk penyeimbangan rasio C/N dan penyeimbangan jumlah mikroba [13].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kemampuan metode *co-composting* dalam penyisihan TPH dengan penambahan bahan baku kompos berupa sampah daun ranting dan sampah RPH berupa rumen sapi lokal dengan variasi komposisi yang ditentukan pada tanah tercemar pelumas bekas serta menentukan jenis sampah organik *biodegradable* yang menghasilkan efisiensi penyisihan TPH terbaik pada bioremediasi tanah tercemar pelumas bekas dengan metode *co-composting*.

Tabel 1.
Karakteristik Awal Sampel Tanah Tercemar Pelumas Bekas

Parameter	Satuan	Tanah 100% (T100)	Tanah 100%+EM4 (T100*)
Suhu	°C	30	32
Kadar Air	%	54	60
pH	-	6,8	7
Nitrat	%	0,0042	0,0045
Nitrit	%	0,0002	0,0001
TKN	%	0,5948	0,6218
N-Total	%	0,5991	0,6265
C-Organik	%	13,91	14,00
Rasio C/N	-	23,22	22,35
TPH	%	6,05	6,00



Gambar 1. Reaktor Uji.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Preparasi Media Tanah Tercemar (*Spiked Sand*)

Media dalam penelitian ini adalah pasir bangunan (massa jenis 1,27 g/cm³). Kontaminan pencemar yang digunakan adalah pelumas bekas (massa jenis 0,868 g/cm³ atau 0,868 kg/L). Media tercemar dibuat dengan konsentrasi sebesar 10% (b/b). Pelumas bekas diharapkan dapat mewakili pencemaran minyak bumi pada tanah dalam kondisi sebenarnya. Konsentrasi TPH maksimum yang diijinkan untuk mengolah tanah tercemar dengan bioremediasi adalah sebesar 15%. Jika terdapat konsentrasi melebihi 15%, maka perlu dilakukan pengolahan awal atau pemanfaatan terlebih dahulu [5].

Berdasarkan penelitian terdahulu, pencemaran minyak pada media tercemar dibuat dengan konsentrasi sebesar 20% (b/b) kadar TPH terukur sebesar 11,83% [15]. Pasir bangunan dijemur dibawah sinar matahari selama ± 1 hari guna menghilangkan kandungan air berlebih pada media. Membuat 10 kg tanah tercemar, dibutuhkan 9 kg pasir dan 1 kg pelumas bekas. Berikut perhitungan pelumas bekas yang dibutuhkan dalam satuan Liter.

$$\text{Volume pelumas bekas} = \frac{m}{\rho} = \frac{1 \text{ kg}}{0,968 \text{ kg/L}} = 1,2 \text{ L}$$

Setelah keduanya ditimbang dan diukur dengan teliti, pasir dan pelumas bekas dicampurkan ke dalam wadah plastik. Lalu, didiamkan 2-3 hari sampai pelumas bekas tercampur merata ke dalam pasir. Hal ini ditunjukkan dengan warna pasir bangunan menjadi kehitaman dan berminyak. Hasil analisis karakteristik awal tanah tercemar pelumas bekas dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan penelitian terdahulu, besar konsentrasi TPH T1, T2, T3 dan T4 berdekatan dengan tempat penyimpanan pelumas bekas, Titik T5 berada di belakang tempat pencucian bagian mesin diesel dari kereta api. Titik T6 berada di belakang tempat pencucian rangka bawah dari kereta api dan T7 berada 10 meter dari tempat pencucian rangka bawah kereta api. Pada kedalaman 10 cm di titik T1, T2, T4 dan T7

Tabel 2.
Karakteristik Awal Sampah Organik *Biodegradable*

Parameter	Satuan	Sampah Daun Ranting	Sampah Rumen Sapi Lokal	Sampah Daun Ranting+ Rumen Sapi Lokal
Suhu	°C	35,0	35,5	35,5
Kadar Air	%	54,0	57,5	62,5
pH	-	7,5	7	6,8
Nitrat	%	0,0212	0,0209	0,0119
Nitrit	%	0,00023	0,00061	0,00066
TKN	%	1,994	1,669	1,894
N-Total	%	2,015	1,690	1,894
C-Organik	%	42,55	38,0	22,86
Rasio C/N	-	21,12	22,48	11,99
TPH	%	0,13	0,08	0,34

memiliki nilai TPH yang tinggi dibandingkan pada kedalaman 40 cm. Hal ini dapat dipastikan tumpahan minyak tidak sampai pada kedalaman 40 cm dari tanah yang berarti persebaran dari tumpahan tanah tidak luas. Titik T3 memiliki nilai TPH yang rendah pada kedua kedalaman tanah. Nilai TPH tertinggi pada kedalaman 10 cm dan 40 cm terdapat pada sampel tanah T5 dan T6. Rentang nilai persentase TPH T1, T2, T3, T4 menjadi gambaran pengaplikasian pencemaran tanah tercemar pelumas bekas yaitu 0,098%-9% pada kedalaman 10 cm dan 0,016%-4% pada kedalaman 40 cm. Maka dari itu, analisis karakteristik awal tanah tercemar (*spiked sand*) diharapkan dapat mewakili persentase TPH diantara rentang nilai 0,016%-9% [16].

B. Bahan Baku *Co-composting*

Bahan baku *co-composting* yang digunakan adalah sampah daun ranting yang diambil dari Rumah Kompos ITS, Surabaya, sampah RPH berupa rumen sapi lokal yang diambil dari Rumah Potong Hewan Pegirian, Surabaya, dan campuran kedua jenis sampah sesuai perhitungan rasio C/N teoritis. Ketiga jenis sampah diayak dengan ayakan 5 mm sebelum dilakukan pencampuran. Hasil analisis karakteristik bahan baku kompos dapat dilihat pada Tabel 2.

C. Desain Penelitian

Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan 8 reaktor terbuat dari bahan plastik tebal berukuran sama yaitu 44 cm x 30 cm x 11 cm. selama 30 hari (Gambar 1.). Bahan baku *co-composting* yang digunakan adalah tanah tercemar pelumas bekas dan sampah organik *biodegradable* sebanyak 1 kg berat basah dengan 2 variasi yang meliputi rasio T/S dan jenis sampah. Rasio T/S divariasikan menjadi 3 yaitu 100/0; 75/25; dan 50/50, sedangkan jenis sampahnya adalah sampah daun ranting, rumen sapi lokal, dan campuran keduanya.

Reaktor terdiri dari T100; T100*; DR50; DR75; RS50; RS75; DR/RS50; dan DR/RS75. T: tanah tercemar, DR: daun ranting, RS: rumen sapi lokal dan DR/RS: campuran keduanya. Angka 50: komposisi tanah dengan sampah sebesar 50%:50%, angka 75: komposisi tanah dengan sampah sebesar 75%:25% dan angka 100: tanah tercemar 100%. Tiap reaktor diberikan 30 mL bioaktivator EM4 kecuali reaktor T100 (kontrol). Pengadukan manual dilakukan setiap 3 hari sekali untuk menjaga kondisi reaktor tetap aerobik dan mengkondisikan kadar air tetap optimum (50-60%).

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan aplikasi teknologi *co-composting* di lapangan agar efisiensi penyisihan TPH lebih optimum. Dilakukan dengan metode *trench* atau metode

Tabel 3.
Metode Analisis Parameter

Parameter	Waktu Pengukuran	Metode/Alat Analisis	Standar/Sumber
TPH	Awal, 10 hari sekali	Gravimetri	[17]
C-organik	Awal, 10 hari sekali	Walkley and Black	[18]
N-nitrat	Awal, 10 hari sekali	Spektrofotometri	[18]
N-nitrit	Awal, 10 hari sekali	Spektrofotometri	[18]
TKN	Awal, 10 hari sekali	Kjeldahl	[18]
pH	Awal, 3 hari sekali	Pengukuran langsung dengan alat <i>iTuin 4 in 1 Soil Test</i>	[18]
Suhu	Awal, 3 hari sekali	Pengukuran langsung dengan alat <i>iTuin 4 in 1 Soil Test</i>	[18]
Kadar air	Awal, 3 hari sekali	Pengukuran langsung dengan alat <i>iTuin 4 in 1 Soil Test</i>	[18]

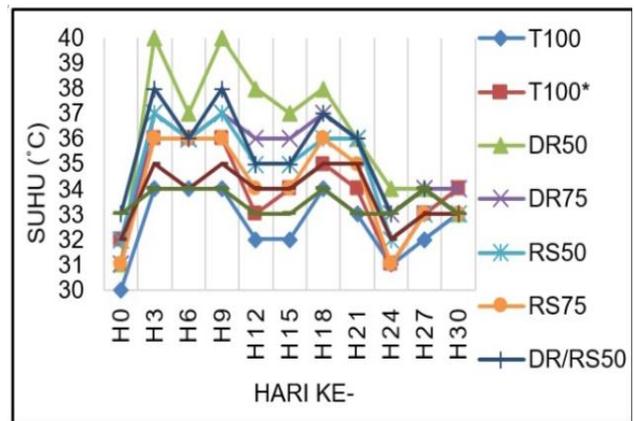
in-vessel menggunakan *rotary drum*. Metode *trench* menerapkan sistem *landfilling*, dimana dapat diterapkan jika kedalaman material penutup cukup tersedia dan muka air tidak dekat dengan permukaan. Pada metode *trench*, dilakukan aerasi melalui pipa yang terdapat di dasar *trench* untuk menciptakan kondisi aerobik. Apabila dipandang tidak ekonomis, maka metode *trench* dapat diterapkan tanpa aerasi atau secara anaerobik. Metode *in-vessel* merupakan proses *co-composting* yang dilakukan di dalam suatu reaktor tertutup. Reaktor yang digunakan adalah *rotary drum*. Reaktor ini berbentuk tabung yang dapat berputar untuk pengadukan dan pemasukan udara agar reaktor tetap dalam kondisi aerobik [17].

D. Pengukuran Parameter Penelitian

Selama proses *co-composting* berlangsung, faktor-faktor pendukungnya diukur dan dianalisis secara periodik. Terdapat 8 parameter yang diujikan dalam penelitian ini antara lain TPH dan C-organik dan N-total (N-nitrat, N-nitrit dan *Total Kjeldahl Nitrogen*) dalam rasio C/N dianalisis setiap 10 hari selama 30 hari proses *co-composting* serta suhu, pH dan kadar air dianalisis setiap 3 hari selama 30 hari proses *co-composting*. Secara lengkap waktu dan metode yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

E. Analisis Kadar Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Kadar TPH diukur dengan metode gravimetri untuk mengetahui tingkat penyisihan TPH pada tanah tercemar pelumas bekas. Sampel tanah tercemar ditimbang sebanyak 5 gram. Sampel tanah dicampurkan dengan 50 mL n-Heksan di dalam *beaker glass* 100 mL. Campuran diaduk selama ±10 menit dan diamkan sejenak. Campuran disaring dengan kertas saring, residu dibuang sedangkan filtrat ditampung di dalam erlenmeyer lainnya. Filtrat ditambahkan 2 sendok spatula (sekitar 2,5 gram) Na_2SO_4 anhidrat dan diaduk ±10 menit. Campuran filtrat dan Na_2SO_4 anhidrat kemudian disaring kembali dengan menggunakan kertas saring, residu dibuang sedangkan filtratnya dimasukkan ke dalam cawan porselen yang telah diketahui berat awalnya. Filtrat dioven pada suhu 105°C selama 1 jam (hanya tersisa residu), kemudian dimasukkan ke dalam desikator. Cawan yang berisi



Gambar 2. Perubahan Suhu Selama *Co-composting*.

residu ditimbang dan dicatat. Pengovenan dilakukan kembali hingga di dapat berat yang konstan. Perhitungan dan analisa data perhitungan persentase TPH menggunakan persamaan berikut:

$$TPH (\%) = \frac{\text{Berat residu (gram)}}{\text{Berat sampel (gram)}} \times 100\% \quad (1)$$

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Co-composting tanah tercemar pelumas bekas dengan sampah organik *biodegradable* bertujuan menstimulasi pertumbuhan bakteri *indigenous* sehingga dapat beradaptasi dan mampu mendegradasi senyawa TPH. Proses stimulasi pertumbuhan bakteri tersebut dipengaruhi oleh suhu, kadar air, pH, rasio C/N.

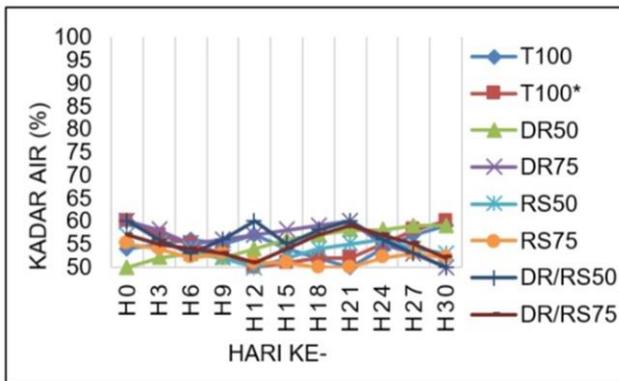
A. Perubahan Suhu

Suhu awal *co-composting* berkisar antara 33-35°C. Pada Gambar 2. dapat dilihat pada 10 hari pertama *co-composting*, suhu reaktor cenderung mengalami kenaikan. Perubahan suhu menunjukkan adanya aktifitas metabolisme mikroba [18]. Peningkatan suhu menunjukkan terjadinya peningkatan aktifitas dan jumlah populasi mikroorganisme juga terjadinya dekomposisi bahan organik yang menghasilkan energi panas [19].

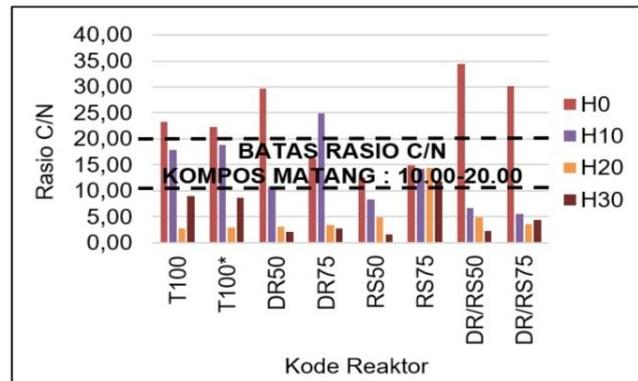
Suhu reaktor terus berfluktuasi berada pada kisaran suhu 30-40°C dan sampai menjelang akhir *co-composting* suhunya stabil mengikuti pola suhu ruang. Penurunan suhu pada akhir *co-composting* menandakan berkurangnya bahan organik yang terdegradasi yang ditandai dengan adanya penyusutan bahan kompos [19]. Pada penelitian ini, kisaran suhu selama *co-composting* pada reaktor berada pada suhu mesofilik 25-45°C yang merupakan suhu optimal pertumbuhan dan perkembangbiakan bakteri [20].

B. Perubahan Kadar Air

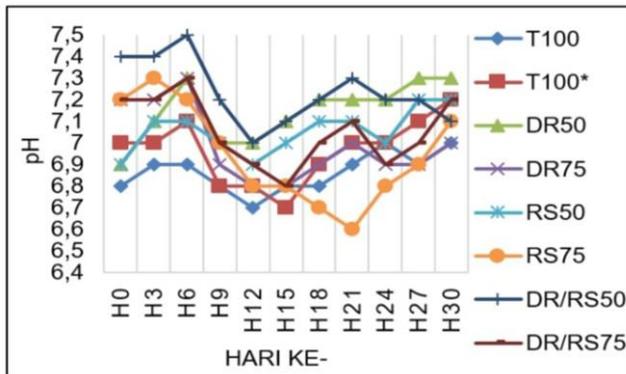
Kadar air pada reaktor selama *co-composting* dikontrol untuk memastikan proses berjalan secara optimum. Kadar air dikondisikan berada pada rentang 50%-60% selama *co-composting* [21]. Pada awal *co-composting*, kadar air di dalam reaktor dikondisikan dan berkisar antara 54%-62,5%. Apabila kadar air kompos di bawah 40% dapat mengakibatkan pengomposan berjalan lambat [17]. Apabila kadar air kompos melebihi 60% maka pergerakan oksigen terganggu dan menyebabkan proses berubah menjadi anaerobik [21]. Kadar air selama *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perubahan Kadar Air Selama *Co-composting*.



Gambar 5. Perubahan Rasio C/N Selama *Co-composting*.



Gambar 4. Perubahan pH Selama *Co-composting*.

Kadar air selalu mengalami penurunan sebelum dikondisikan setiap 3 hari sekali. Penurunan kadar air disebabkan oleh penguapan uap air akibat peningkatan suhu dari panas yang dihasilkan pada proses metabolisme mikroorganisme sementara tidak ada *supply* udara secara berkala pada *reactor* [22].

C. Perubahan pH

Pada awal proses *co-composting*, pH di dalam reaktor berkisar antara 6,8-7,4. Namun pada hari ke-6 *co-composting*, nilai pH mengalami kenaikan mencapai kisaran pH yaitu 6,9-7,5. Setelah mengalami kenaikan pada hari ke-6, nilai pH mengalami penurunan pada hari ke-9. Pada umur *co-composting* selama 30 hari, menunjukkan hasil bahwa semua reaktor memiliki rentang nilai pH yaitu pada kisaran 6,9-7,2. Semua reaktor memenuhi syarat kematangan kompos jika ditinjau dari parameter pH harus terletak pada rentang 6,8–7,4 [23]. Perubahan nilai pH dapat dilihat pada Gambar 4.

Perubahan pH terjadi karena metabolisme dan dekomposisi material organik oleh bakteri yang menghasilkan senyawa amonia dan asam organik. Senyawa amonia menyebabkan pH naik, sedangkan asam organik menyebabkan pH turun [24]. Pada kisaran pH 6-8 bagus untuk aktifitas mikroba selama *co-composting* dan merupakan pH optimum dalam pengomposan [25].

D. Rasio C/N

Rasio C/N perlu diperhatikan untuk menggambarkan keseimbangan nutrisi bagi bakteri. Rasio C/N dihitung dalam bentuk C-organik/N-total. C-organik sebagai sumber energi untuk metabolisme bakteri dan N-total dibutuhkan bakteri untuk perkembangan dan pertumbuhan. Pada awal *co-composting*, nilai rasio C/N berkisar antara 12,66-34,40, sebagian besar nilai rasio C/N masuk dalam rentang rasio C/N

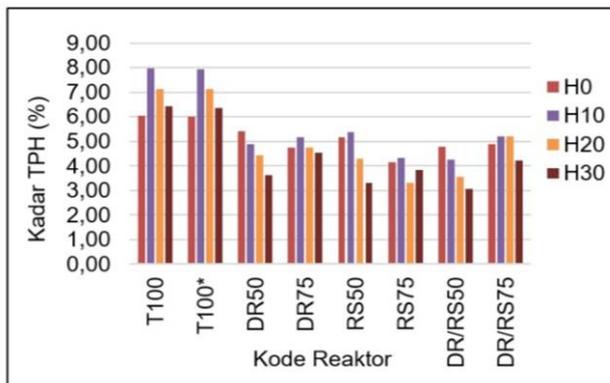
yang baik untuk bahan kompos yaitu 25-50 [17]. Rasio C/N di sebagian besar reaktor mengalami penurunan selama *co-composting* dari hari ke-0 sampai pada hari ke-30. Kematangan kompos ditandai dengan rasio C/N dalam rentang 10-20 [23].

Pada akhir pengomposan yaitu hari ke-30 *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. Penurunan rasio C/N diakibatkan dekomposisi oleh mikroorganisme dimana kadar C-organik semakin kecil karena digunakan mikroorganisme sebagai sumber energi dan untuk respirasi [14]. Sementara kadar N-total meningkat karena mikroorganisme mengubah N-organik menjadi ammonia dan langsung dikonversi menjadi nitrat. Kisaran rasio C/N pada akhir *co-composting* adalah 1,52-11,79. Kecilnya rasio C/N di akhir *co-composting* dapat diatasi dengan penambahan *bulking agent*. Rasio C/N selama *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 5.

Ada keterkaitan antara rasio C/N dengan rasio BOD/COD kompos sebagai indeks kematangan umum. Rasio C/N berkorelasi dengan BOD/COD, korelasi keduanya merupakan korelasi positif antara kandungan karbon dalam air dan produksi karbon dioksida. Karena BOD dan COD mengukur *Biodegradable Organic Matter* (BOM) kompos yang dapat larut dan rasio BOD/COD menunjukkan tingkat degradasi kompos oleh mikroba, maka batas stabilitas kompos harus ditentukan. Parameter BOD dan COD merupakan parameter sederhana dan penting untuk pemeriksaan kandungan zat organik. Kematangan kompos dengan C/N <14 bukannya <20 sesuai dengan stabilitas dengan BOD/COD kurang dari 0,1. Rasio BOD/COD yang rendah dapat menunjukkan adanya bahan organik yang sulit terurai, yang berarti stabil secara mikrobiologis, atau mungkin karena adanya zat organik beracun yang menghambat aktivitas mikroba [26]. *Co-composting* dengan perhitungan rasio BOD/COD dapat mendukung degradasi surfaktan guna meningkatkan bioremediasi tanah yang terkontaminasi zat selama proses karena mengandung bahan *biodegradable* yang cukup dan mikroba dalam reaktor masih aktif [27].

E. Kadar Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Kadar TPH pada seluruh reaktor uji berbeda-beda pada awal *co-composting*. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan komposisi tanah dan sampah organik yang ditambahkan. Semakin besar komposisi tanah tercemar pelumas bekas yang



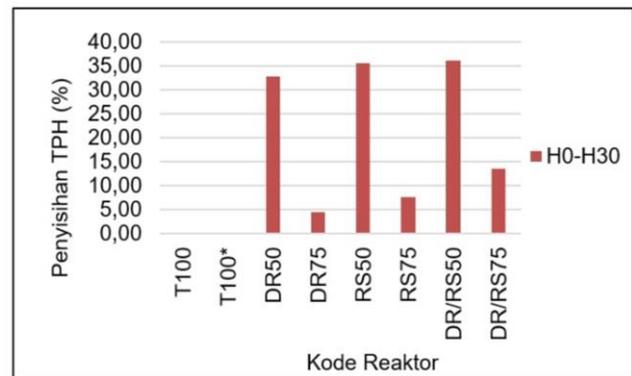
Gambar 6. Perubahan Kadar TPH Selama Co-composting.

ditambahkan, maka semakin besar kadar TPH dalam reaktor. Hal ini disebabkan kadar TPH dalam tanah tercemar pelumas bekas yang tinggi, sedangkan kadar TPH dalam sampah organik rendah. Kadar TPH pada reaktor selama 30 hari *co-composting* dapat dilihat pada Gambar 6.

Kadar TPH awal yang tertinggi dari reaktor uji dengan jenis sampah organik yang berbeda adalah DR50 dan RS75 masing-masing sebesar 5,40% dan 5,16%. Sedangkan kadar TPH awal yang terendah dari reaktor uji dengan jenis sampah organik yang berbeda adalah RS75 dan DR75 masing-masing sebesar 4,16% dan 4,73%. Pada hari ke-10 *co-composting*, kadar TPH pada sebagian besar reaktor kontrol dan reaktor uji mengalami kenaikan, kecuali pada reaktor uji DR50 dan DR/RS50. Pada reaktor DR/RS75 mengalami kenaikan kadar TPH (6,15%). Pada hari ke-10 *co-composting*, reaktor DR50 mengalami penurunan kadar TPH dari sebesar 5,40% menjadi 4,90% dan reaktor DR/RS50 mengalami penurunan dari 4,79% menjadi 4,26%. Pada hari ke-10 *co-composting*, kadar TPH pada kedua reaktor kontrol dan reaktor uji mengalami penurunan kadar TPH. Hal ini menunjukkan mulai terjadi penyisihan kadar TPH oleh mikroorganisme hidrokarbonoklastik pada *co-composting* hari ke-20. Pada reaktor kontrol T100, kadar TPH turun menjadi 7,14% dan pada T100* juga turun menjadi 7,12%. Pada hari ke-20 *co-composting* pada reaktor uji, penyisihan TPH tertinggi adalah reaktor RS50 yaitu dari 4,26% menjadi 3,54%. Pada hari ke-30 *co-composting* atau akhir dari proses *co-composting*, pada reaktor uji terjadi penurunan kadar TPH. Namun, penurunan kadar TPH tidak setinggi pada hari ke-20. Penurunan TPH paling besar terjadi pada reaktor DR/RS75 yaitu 5,21% menjadi 4,22%.

Pada hari ke-0 sampai hari ke-20 *co-composting*, terjadi kenaikan kadar TPH pada sebagian besar reaktor uji. Hal ini karena mikroorganisme hidrokarbonoklastik menghasilkan biosurfaktan yang dapat membantu proses desorpsi (pelepasan) senyawa TPH dari matriks tanah. 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 [14]. *Compost humic acid-like* (cHAL) berperan sebagai surfaktan (*natural surfactant*) yang dapat meningkatkan desorpsi TPH dari matriks tanah [30].

Pada hari ke-20 sampai hari ke-30 *co-composting*, kadar TPH pada seluruh reaktor kontrol dan reaktor uji mengalami penurunan. Penurunan kadar TPH terjadi karena berkurangnya senyawa organik dalam bahan kompos yang



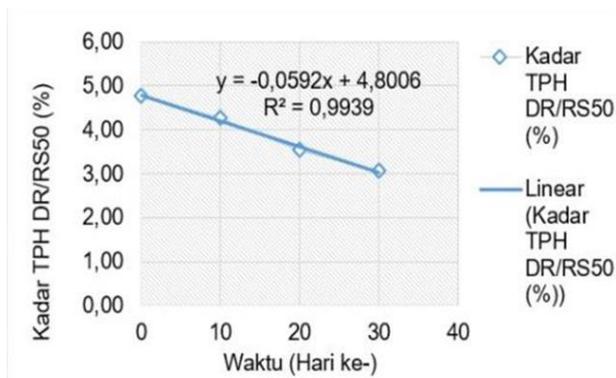
Gambar 7. Removal TPH dari Hari ke-0 sampai Hari ke-30 Co-composting.

menyebabkan bakteri kekurangan nutrisi untuk metabolisme sehingga proses dekomposisi senyawa organik dan penguraian TPH berjalan lambat. Penurunan kadar TPH terjadi karena adanya penambahan nutrisi berupa sampah organik pada *co-composting* dapat mempercepat aktivitas atau perkembangan dan memperbanyak jumlah total populasi bakteri pada kompos [13]. Penurunan kadar TPH juga terjadi karena mikroorganisme hidrokarbonoklastik mulai mendegradasi TPH menjadi asam-asam organik yang lebih sederhana. Berdasarkan hasil penelitian, reaktor dengan penurunan terbesar adalah reaktor-reaktor dengan komposisi sampah organik terbesar (T:S/50:50). Hal ini dikarenakan sampah organik berperan sebagai nutrisi tambahan untuk membantu mempercepat aktivitas mikroorganisme dalam mendekomposisi bahan organik termasuk mendegradasi TPH.

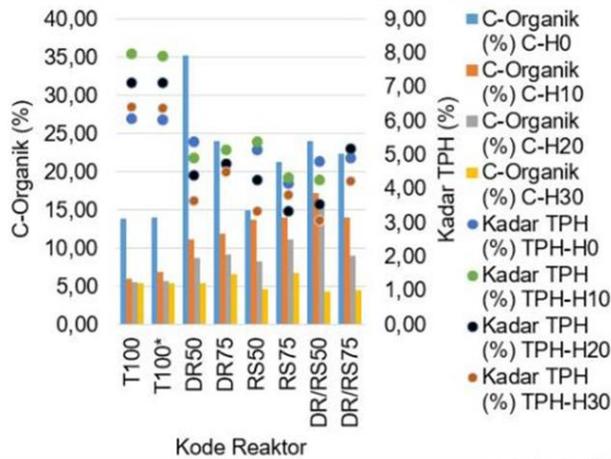
F. Penyisihan Total Petroleum Hydrocarbon (TPH)

Besarnya penyisihan TPH dari hari ke-0 sampai hari ke-30 *co-composting* disajikan secara lengkap dalam Gambar 7. Gambar 7 menunjukkan penyisihan TPH 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 TPH yang dapat disisihkan. Sampah organik sebagai nutrisi tambahan (*starter*) membantu mempercepat aktifitas mikroorganisme dalam mendekomposisi dan mendegradasi bahan organik termasuk TPH.

Berdasarkan Gambar 7, penyisihan TPH tetap terjadi walaupun cenderung melambat lajunya hingga pada komposisi sampah organik terkecil. Diketahui reaktor uji dengan penyisihan TPH tertinggi adalah reaktor DR/RS50 (50% tanah: 50% campuran sampah daun ranting dan sampah rumen sapi lokal) dengan tingkat penyisihan sebesar 36,16% dari hari ke-0 sampai hari ke-30 *co-composting*. TPH mengalami penurunan kadar dari 4,79% menjadi 3,06% di akhir *co-composting*. Hasil akhir penyisihan TPH belum memenuhi standar baku mutu sesuai Kepmen LH No 128/2003 yaitu sebesar 1%. Hal ini diakibatkan kecilnya nilai rasio C/N (34,40) dari awal *co-composting* sehingga bakteri kekurangan nutrisi untuk aktivitasnya dalam mendekomposisi bahan organik. Reaktor DR/RS50 memiliki kadar TPH terkecil di awal dan akhir *co-composting* dibandingkan dengan reaktor uji yang lain, yaitu sebesar 4,79% - 3,06%. Selain itu, hal ini juga didukung oleh beberapa pertimbangan lain yaitu penggunaan sampah



Gambar 8. Penyisihan Kadar TPH DR/RS50 Terhadap Fungsi Waktu dari Hari ke-0 Sampai Hari ke-30 *Co-composting*.



Gambar 9. Perbandingan Penurunan C-Organik dan Penyisihan Kadar TPH Selama *Co-composting*.

organik yang sedikit pada pengaplikasiannya karena penggunaan volume sampah terbagi menjadi dua. Faktor pendukung lain adalah penggunaan sampah kebun berpotensi menghasilkan *compost humic acid-like* (cHAL) yang dapat berperan sebagai surfaktan. Sebagaimana yang diketahui bahwa surfaktan memiliki kemampuan untuk melakukan desorpsi TPH dari matriks tanah [19].

Sebagian besar polutan TPH dapat tersisihkan dari tanah terkontaminasi dengan *co-composting* yang dilakukan selama 120 hari [7]. Keberhasilan proses pengolahan biologis dalam menurunkan kadar TPH sampai memenuhi kriteria yang dipersyaratkan dievaluasi dengan ketentuan waktu maksimum pengolahan adalah 8 bulan. Kadar TPH $\leq 1\%$ dapat dicapai jika waktu *co-composting* diperpanjang menjadi 120 hari atau lebih [6]. Penurunan kadar TPH sampai memenuhi baku mutu pada reaktor DR/RS50 dapat diperkirakan dengan persamaan dari grafik penurunan kadar TPH terhadap fungsi waktu pada Gambar 8.

Penyisihan kadar TPH dalam tanah tercemar dengan *co-composting* dipengaruhi oleh penurunan kadar C-organik dalam bahan kompos. Berdasarkan Gambar 9, C-organik dan TPH sama-sama mengalami penurunan. Namun, penurunan kadar TPH 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 TPH. Senyawa organik dari bahan kompos yaitu C-organik sebagai nutrisi tambahan mikroba untuk metabolisme dan mendegradasi senyawa TPH [28]. Senyawa TPH sulit dan lama didegradasi karena ikatan senyawanya

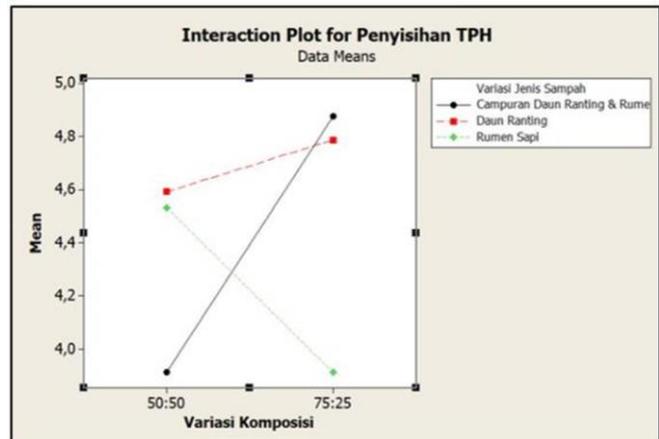
General Linear Model: Penyisihan T versus Variasi Jeni; Variasi Komp

Factor	Type	Levels	Values
Variasi Jenis Sampah	fixed	3	Campuran Daun Ranting & Rumen Sapi; Daun Ranting; Rumen Sapi
Variasi Komposisi	fixed	2	50:50; 75:25

Analysis of Variance for Penyisihan TPH, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Variasi Jenis Sampah	2	0,8942	0,8942	0,4471	1,07	0,363
Variasi Komposisi	1	0,1944	0,1944	0,1944	0,47	0,503
Variasi Jenis Sampah*	2	2,5129	2,5129	1,2564	3,01	0,074
Variasi Komposisi						
Error	18	7,5076	7,5076	0,4171		
Total	23	11,1092				

S = 0,645826 R-Sq = 32,42% R-Sq(adj) = 13,65%

Gambar 10. Hasil Uji Anova Pada Ketiga Hipotesis Terhadap Penyisihan TPH.



Gambar 11. Interaksi Plot Pengaruh Variasi Jenis Sampah Organik, Variasi Komposisi Tanah Dan Sampah Serta Interaksi Kedua Variasi Terhadap Tingkat Penyisihan TPH.

yang kuat dan kompleks, senyawanya yang juga berikatan dengan matriks tanah, dan bersifat toksik pada sebagian mikroorganisme [29]. Kemungkinan nilai rasio C/N awal pada penelitian yang terlalu rendah menghasilkan nilai *removal* TPH juga masih rendah.

G. Uji Statistik Anova Two-Way (Pengaruh Variasi Komposisi dan Jenis Sampah Organik Biodegradable terhadap Penyisihan TPH)

Dalam penelitian ini, hasil analisa parameter kadar TPH 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 *biodegradable* dan komposisi tanah tercemar pelumas bekas dan sampah organik *biodegradable*) terhadap variabel terikat (tingkat penyisihan kadar TPH). 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 TPH pada *co-composting* tanah tercemar pelumas bekas.

Uji statistik Anova *Two-way* ini memiliki tingkat kepercayaan 95%. Pada penelitian di laboratorium tingkat kesalahan yang masih diterima adalah sebesar 5% [30]. 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 TPH, sebaliknya jika nilai P -value $>0,05$ maka variabel tersebut tidak berpengaruh secara signifikan terhadap tingkat penyisihan kadar TPH pada bioremediasi metode *co-composting* tanah tercemar pelumas bekas.

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

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

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 TPH. Berikut pada Gambar 10 hasil uji statistik Anova *Two-way* dengan *Software* Minitab 16.

Dari hasil analisis didapatkan:

- 1) Untuk H_0 (a) nilai $P > 0,05$ ($P = 0,363$) maka gagal tolak H_0 (a) sehingga tidak ada pengaruh signifikan variasi jenis sampah terhadap tingkat penyisihan kadar TPH
- 2) Untuk H_0 (b) nilai $P > 0,05$ ($P = 0,503$) maka gagal tolak H_0 (b) sehingga tidak ada pengaruh signifikan variasi komposisi tanah dan sampah terhadap tingkat penyisihan kadar TPH
- 3) Untuk H_0 (c) nilai $P > 0,05$ ($P = 0,074$) 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 TPH

Grafik interaksi plot pada pengaruh variasi jenis sampah organik, variasi komposisi tanah dan sampah serta interaksi kedua variasi terhadap tingkat penyisihan TPH dapat dilihat pada Gambar 11.

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 TPH. Berdasarkan hasil uji Anova *Two-way* dapat dilihat bahwa pada ketiga jenis sampah, kadar TPH terkecil adalah komposisi tanah dan sampah 50:50. Kadar TPH terkecil di akhir *co-composting* adalah reaktor DR/RS50 dengan jenis sampah campuran sampah daun ranting dan rumen sapi dengan komposisi tanah dan sampah organik 50:50. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya senyawa *compost humic acid-like* (cHAL) yang berperan sebagai surfaktan (*natural surfactant*) yang dapat meningkatkan desorpsi TPH dari matriks tanah dan dihasilkan dari sampah yang berasal dari kayu yang mengandung lignin [19]. Penambahan kedua jenis sampah dapat menurunkan kadar TPH dalam jumlah besar pada awal *co-composting*. Selain itu, penambahan campuran kedua bahan sampah organik tersebut dapat memperkecil penggunaan masing-masing jenis sampah dalam *co-composting*. Pada reaktor DR/RS50 digunakan sampah rumen sapi lokal dan sampah daun ranting 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 Rumah

Potong Hewan (RPH) berdasarkan data Dinas Peternakan Provinsi Jawa Timur di Surabaya hanya ada 3 buah yaitu RPH Pegirian, PRH Kedurus dan RPH PT. Surya Jaya. Selain itu, bau sampah RPH berupa rumen sapi lokal yang sangat menyengat dan mengganggu estetika.

IV. KESIMPULAN

Ditinjau dari variasi jenis sampah organik *biodegradable* serta komposisi tanah dan sampah, reaktor yang paling baik dalam penyisihan TPH adalah reaktor DR/RS50 dengan jenis sampah campuran sampah daun ranting dan sampah RPH berupa rumen sapi lokal dengan komposisi tanah dan sampah 50:50. TPH dapat disisihkan dari 4,79% menjadi 3,06% setelah 30 hari *co-composting*. Namun kadar TPH tersebut masih melebihi baku mutu berdasarkan Kepmen LH No. 128 tahun 2003 yaitu sebesar 1%. Efisiensi penyisihan TPH pada reaktor DR/RS50 adalah 36,16% sampai hari ke-30 *co-composting*. Oleh karena itu, proses metode *co-composting* terbukti dapat diaplikasikan sebagai teknik bioremediasi tanah tercemar pelumas bekas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Syafrudin, "Penerapan Pengelolaan Limbah B3 di PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia," *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, vol. 7, no. 2, pp. 62–70.
- [2] S. O. Ayoola and C. O. Akazeze, "Genotoxic evaluation and toxicity of spent engine oil on *Clarias gariepinus*," *Res. J. Environ. Toxicol.*, vol. 6, no. 4, p. 133, 2012.
- [3] Y. Pratiwi, "Pengolahan minyak pelumas bekas menggunakan metode acid clay treatment," *J. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 1, 2013.
- [4] M. dan S. Junaidi, "Penggunaan Bakteri *Pseudomonas fluorescens* dan Pupuk Kandang dalam Bioremediasi Inceptisol Tercemar Hidrokarbon," *J. Konserv. Sumber Daya Lahan*, vol. 1–9, 2013.
- [5] K. M. N. L. Hidup, "Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 128 Tahun 2003 tentang Tata Cara dan Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Minyak Bumi dan Tanah Terkontaminasi oleh Minyak Bumi Secara Biologis," *Jakarta Lingkung. Hidup*, 2003.
- [6] Z. Wang, Y. Xu, J. Zhao, F. Li, D. Gao, and B. Xing, "Remediation of petroleum contaminated soils through composting and rhizosphere degradation," *J. Hazard. Mater.*, vol. 190, no. 1–3, pp. 677–685, 2011.
- [7] W. Namkoong, E.-Y. Hwang, J.-S. Park, and J.-Y. Choi, "Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting," *Environ. Pollut.*, vol. 119, no. 1, pp. 23–31, 2002.
- [8] A. Mizwar and Y. Trihadiningrum, "Penyisihan Polycyclic Aromatic Hydrocarbons pada Tanah Terkontaminasi Batubara dengan Metode *Co-composting*." Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS, 2016.
- [9] T. Sayara, M. Sarrà, and A. Sánchez, "Effects of compost stability and contaminant concentration on the bioremediation of PAHs-contaminated soil through composting," *J. Hazard. Mater.*, vol. 179, no. 1–3, pp. 999–1006, 2010.
- [10] P. Wellang, R. M. Rahim, I. R. Hatta, M., "Studi Kelayakan Kompos Menggunakan Variasi Bioaktivator (EM4 dan ragi)," *J. Jur. Sipil Fak. Tek. Univ. Hasanuddin Makassar*, vol. 1–19, 2015.
- [11] H. I. Atagana, R. J. Haynes, and F. M. Wallis, "Co-Composting of Soil Heavily Contaminated with Creosote with Cattle Manure and Vegetable Waste for the Bioremediation of Creosote-Contaminated Soil," *Soil Sediment Contam.*, vol. 12, no. 6, pp. 885–899, 2003.
- [12] H. I. Atagana, "Compost bioremediation of hydrocarbon-contaminated soil inoculated with organic manure," *African J. Biotechnol.*, vol. 7, no. 10, 2008.
- [13] K. Van Gestel, J. Mergaert, J. Swings, J. Coosemans, and J. Ryckeboer, "Bioremediation of diesel oil-contaminated soil by composting with biowaste," *Environ. Pollut.*, vol. 125, no. 3, pp. 361–368, 2003.
- [14] R. Ratnawati and Y. Trihadiningrum, "Teknologi Pengomposan Limbah Padat Rumah Potong Hewan." Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS, 2016.
- [15] L. Vyatrawan, "Bioremediasi Tanah Tercemar Minyak Dengan Metode Soil Washing Dan Biostimulasi," Institut Technology Sepuluh Nopember, 2015.
- [16] A. H. Rusli and others, "Bioremediasi Tanah dengan Teknik

- Composting Di Pt. X, Yogyakarta,” 2019.
- [17] G. Tchobanoglous, H. Thiesen, and S. Vigil, *Integrated solid waste management: Engineering Principles and management issues*. New York: Mc Graw Hill Inc, 1993.
- [18] M. P. Bernal, J. A. Alburquerque, and R. Moral, “Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review,” *Bioresour. Technol.*, vol. 100, no. 22, pp. 5444–5453, 2009.
- [19] R. Guo *et al.*, “Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost,” *Bioresour. Technol.*, vol. 112, pp. 171–178, 2012.
- [20] M. Raviv, “Production of high-quality composts for horticultural purposes: A mini-review,” *Horttechnology*, vol. 15, no. 1, pp. 52–57, 2005.
- [21] S. Gajalakshmi and S. A. Abbasi, “Solid waste management by composting: state of the art,” *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 38, no. 5, pp. 311–400, 2008.
- [22] T. Nolan, S. M. Troy, M. G. Healy, W. Kwapinski, J. J. Leahy, and P. G. Lawlor, “Characterization of compost produced from separated pig manure and a variety of bulking agents at low initial C/N ratios,” *Bioresour. Technol.*, vol. 102, no. 14, pp. 7131–7138, 2011.
- [23] B. S. Nasional, “SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik,” *Jakarta Badan Standar Nas. Indones.*, 2004.
- [24] A. Ismayana, N. S. Indrasti, A. M. Suprihatin, A. F. TIP, and others, “Faktor rasio C/N awal dan laju aerasi pada proses co-composting bagasse dan blotong,” *J. Agroindustrial Technol.*, vol. 22, no. 3, 2012.
- [25] F. C. MILLER, “Composting as a process based on the control of ecologically selective factors,” *Microb. Ecol.*, pp. 515–544, 1993.
- [26] S. Mangkoedihardjo, “Reevaluation of maturity and stability indices for compost,” *J. Appl. Sci. Environ. Manag.*, vol. 10, no. 3, pp. 83–85, 2006.
- [27] S. Mangkoedihardjo, S. Albeta, L. April, and others, “Compost on evapotranspiration bed planted with yellow flag for treatment of wastewater containing anionic surfactant,” *J. Appl. Sci. Res.*, no. March, pp. 1630–1633, 2012.
- [28] Y. Sari, G. L., Mizwar, A., dan Trihadiningrum, “Pengaruh Tanah terhadap Proses Biodegradasi Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) Pada Tanah Terkontaminasi Batubara,” *J. Teknol. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, vol. 31–38, 2015.
- [29] B. Aliyanta, A. S. Mujab, and others, “Penggunaan biokompos dalam bioremediasi lahan tercemar limbah minyak bumi,” *J. Kim. Val.*, vol. 2, no. 3, 2011.
- [30] E. M. Kuswadi, “Statistik Berbasis Komputer untuk Orang-orang Nonstatistik,” *Elek Media Komputindo Jakarta*, 2004.