

# ANALISIS KONSENTRASI DAN SPESIASI LOGAM BERAT PADA PENGOMPOSAN LIMBAH LUMPUR IPAL DOMESTIK (Studi Kasus : IPAL Waduk Setiabudi, Jakarta Selatan)

Dini Aryanti

Program Studi S1 Teknik Sipil - FT Universitas Ibn Khaldun Bogor

Kontak Person :  
diniaryti@gmail.com

## Abstract

*Sewage sludge generated from WWTP can be reused by composting because it contains a high organic content. However, the content of heavy metals in sewage sludge can be a major cause negative impacts on the environment and human health. The purpose of this study is to analyze the changes in the physical-chemical parameters, concentration and chemical speciation of Cu and Pb in two compost mixtures as an assessment of the feasibility of both composts to be used as fertilizer. The result showed that the parameters of temperature, pH, and C/N ratio in both compost met the standard quality of compost according to SNI 19-7030-2004. Concentration of Cu in compost 1 and compost 2 were 150 mg/kg and 237 mg/kg respectively, while the concentration of Pb were 224 mg/kg and 183 mg/kg respectively. The concentration of both metals in two composts resulted ecological risk factor that go into a low risk category ( $Er < 40$ ). In addition, the composting process in this study reduced the toxicity effect of two metals. At the end of composting, fractions of Cu in two composts were dominant in organic bound fraction in amount of 63.50% for compost 1 and 56.20% for compost 2. While Pb were dominant in the residual fraction that is equal to 62.10% for compost 1 and 71.50% for compost 2. These fractions are the stable fraction so that the existence of Cu and Pb in two compost do not give negative impact to the environment if two composts will be applied to soil.*

**Keywords:** chemical speciation of heavy metal; composting; psycho-chemical parameter; sewage sludge

## 1. Pendahuluan

DKI Jakarta merupakan salah satu kota besar di Indonesia dengan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi. Peningkatan jumlah penduduk ini tentu saja menyebabkan kebutuhan akan air bersih yang turut meningkat dikarenakan air merupakan kebutuhan pokok manusia. Besarnya kebutuhan air bersih di suatu kota menyebabkan limbah yang dihasilkan turut meningkat baik berupa limbah padat atau limbah cair. Dalam rangka mengelola limbah cair domestik yang dihasilkan, DKI Jakarta memiliki satu buah Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di kawasan Setiabudi yang mengolah air limbah dari kawasan Setiabudi dan Tebet dengan teknologi pengolahan Aerated Lagoon. Selain mengolah air limbah dari sektor rumah tangga dan komersil, IPAL ini juga berfungsi sebagai waduk pengendali banjir di DKI Jakarta sehingga air yang diolah juga bersumber dari saluran drainase. Dari proses pengolahan air limbah, IPAL Waduk Setiabudi menghasilkan produk sampingan berupa limbah lumpur yang menjadi tanggung jawab Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta dalam proses pengambilan dan pengangkutannya. Namun, frekuensi pengambilan limbah lumpur di IPAL ini tidak dilakukan secara rutin sehingga menjadi kendala dalam operasional IPAL. Selain itu, limbah lumpur tersebut langsung dibuang dan tidak dilakukan pengolahan terlebih dahulu sehingga dapat menjadi sumber pencemar baru bagi lingkungan.

Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk mengelola limbah lumpur pada IPAL Waduk Setiabudi untuk mengurangi dampak buruk yang akan dihasilkan bagi lingkungan, salah satunya adalah dengan proses pengomposan. Namun, selain memiliki keuntungan, pupuk dari limbah lumpur dapat menimbulkan resiko bagi kesehatan manusia dikarenakan limbah lumpur memiliki polutan berupa logam berat yang dapat bermigrasi ke air tanah dan terakumulasi pada tanaman (Amir et al., 2005). Konsentrasi logam berat mengindikasikan tingkat kontaminasi, tetapi tidak mempresentasikan dalam bentuk apa logam berat tersebut hadir dan potensi mobilitas serta bioavailabilitasnya terhadap lingkungan. Oleh karena itu dibutuhkan data mengenai bentuk spesiasi logam berat yang terdapat pada campuran kompos (Zheng et al., 2007). Penilaian spesiasi kimia logam berat di kompos memungkinkan untuk menilai mobilitas, bioavailabilitas, dan kesesuaiannya untuk diterapkan di lahan pertanian. Logam berat yang ditinjau pada

penelitian ini adalah logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb). Hal ini dikarenakan dari hasil pemeriksaan karakteristik awal limbah lumpur, logam Cu dan Pb merupakan logam dengan konsentrasi tertinggi dibandingkan logam lainnya.

Pada proses pengomposan, dekomposisi senyawa organik akan menyebabkan perubahan parameter fisik kimia kompos seperti kadar air, C/N, suhu dan parameter lainnya. Parameter tersebut penting untuk dinilai selain berguna untuk menghasilkan kualitas kompos yang sesuai standar, tetapi juga akan mempengaruhi konsentrasi dan distribusi logam berat pada kompos. Konsentrasi dan distribusi logam yang berbeda pada campuran kompos akan memberikan efek toksisitas yang berbeda pula pada lingkungan.

Dengan mengacu pada beberapa kondisi dan permasalahan di atas, maka diperlukan suatu penilaian terhadap konsentrasi dan bentuk spesiasi logam berat, khususnya Cu dan Pb, pada campuran kompos selama berlangsungnya proses pengomposan.

## **2. Metode Penelitian**

### **1. Bahan Baku dan Metode Pengomposan**

Bahan baku pada penelitian ini adalah limbah lumpur yang bersumber dari IPAL Waduk Setiabudi dan daun kering yang bersumber dari pekarangan Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pada pengomposan ini terdapat dua variasi campuran kompos, yaitu kompos 1 dengan rasio komposisi limbah lumpur dan daun kering adalah 1:1 dan kompos 2 dengan rasio komposisi limbah lumpur dan daun kering adalah 2:3.

Metode pengomposan yang dilakukan adalah dengan sistem windrow. Pada tahap awal dilakukan pengeringan pada limbah lumpur dan pencacahan pada daun kering. Setelah itu limbah lumpur dan daun kering dicampur sesuai dengan proporsinya masing-masing dan dilakukan penggundukan. Gundukan kedua kompos dibentuk menyerupai kerucut dengan dimensi sebesar 1 m x 1,2 m x 0,75 m (panjang x lebar x tinggi). Pengomposan berlangsung selama 48 hari. Selama proses pengomposan berlangsung dilakukan pengadukan secara manual untuk memenuhi kebutuhan aerasi pada kedua campuran kompos. Selain itu, dilakukan juga pengambilan sampel secara berkala untuk dilakukan pemeriksaan terhadap karakteristik kedua kompos.

### **2. Metode Pemeriksaan Sampel**

Karakteristik sampel kompos yang dilakukan pemeriksaan adalah kadar air, kandungan bahan organik, pH, konduktivitas, suhu, rasio C/N, konsentrasi total logam Cu dan Pb, serta spesiasi kimia logam Cu dan Pb. Pemeriksaan kadar air dilakukan dengan melakukan pemanasan sampel pada suhu 105°C selama 3 jam, dan kandungan bahan organik diperoleh dari hasil pemanasan kembali sampel pada suhu 550°C selama 1 jam. Nilai pH diperoleh dengan menambahkan air suling ke dalam sampel kemudian larutan diaduk menggunakan shaker dan pH diukur menggunakan pH meter. Konduktivitas dilakukan pada larutan hasil pengujian pH dengan menggunakan alat multimeter HACH. Suhu kompos diukur secara langsung pada gundukan kompos dengan menggunakan termometer digital. Kadar karbon diukur dengan metode spektrofotometri dan kadar nitrogen diukur dengan metode Kjeldahl. Pemeriksaan konsentrasi total logam dilakukan menggunakan AAS (Atomic Absorption Spectrometer) dengan sebelumnya dilakukan digesti pada sampel dengan menggunakan larutan HNO<sub>3</sub> dan HClO<sub>4</sub> pada suhu 200°C. Sedangkan pemeriksaan terhadap distribusi fraksi logam Cu dan Pb dilakukan dengan metode ekstraksi bertahap (sequential extraction) yang pertama kali dikembangkan oleh Tessier et al (1979) dan telah banyak digunakan dalam studi logam berat pada limbah lumpur.

### **3. Analisis Statistik Data**

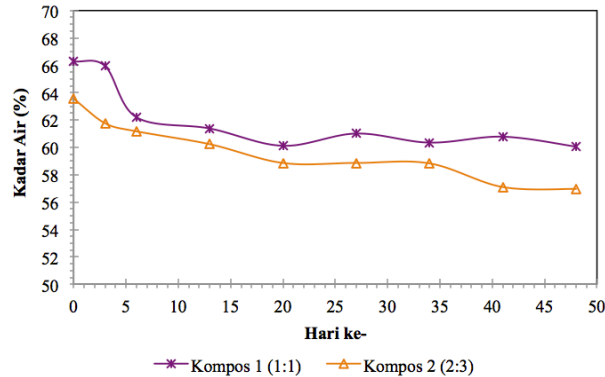
Uji statistik data dilakukan dengan analisis korelasi untuk mengetahui bentuk hubungan antara konsentrasi logam Cu dan Pb dengan parameter pH, suhu, dan kandungan bahan organik kompos. Selain itu, dilakukan juga analisa regresi untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ketiga parameter tersebut terhadap konsentrasi logam Cu dan Pb, serta untuk memprediksikan besarnya konsentrasi logam terhadap perubahan nilai pH, suhu, dan kandungan bahan organik pada kompos. Analisis statistik ini dilakukan dengan menggunakan bantuan software SPSS 22.0.

### 3. Hasil Pembahasan

#### 3.1 Analisis Perubahan Parameter Fisik-Kimia Kompos

##### 1) Parameter Kadar Air

Pada Gambar 1 terlihat bahwa secara umum kadar air pada kedua kompos mengalami penurunan. Hal ini sejalan dengan Villasenor et al (2011) yang menyatakan bahwa proses pengomposan akan menghasilkan pengurangan kadar air pada campuran kompos yang disebabkan oleh penguapan akibat panas yang ditimbulkan dari aktivitas mikroorganisme. Pada akhir pengomposan, kadar air akhir kompos 1 adalah sebesar 60,05% atau mengalami pengurangan sebesar 6,26% dari kadar air awal, sedangkan kadar air akhir kompos 2 adalah sebesar 6,61%.

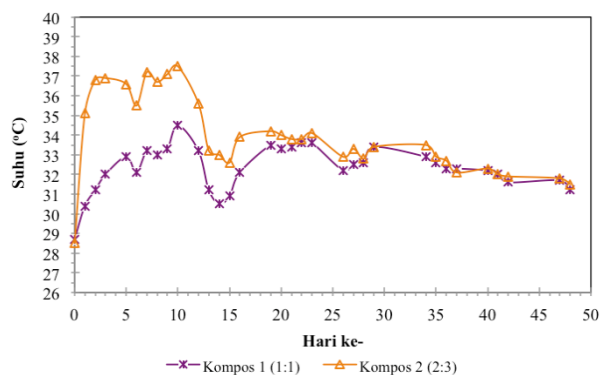


Gambar 1. Perubahan Kadar Air Kedua Kompos

Perubahan kadar air yang terjadi dari awal hingga akhir pengomposan menunjukkan bahwa nilai kadar air pada kompos 2 lebih rendah dibandingkan kompos 1. Kondisi ini disebabkan oleh proporsi daun kering yang terdapat pada kompos 2 lebih banyak dibandingkan pada kompos 1. Seperti yang dijelaskan oleh Yanez et al (2009), penambahan bulking agent pada pengomposan limbah lumpur dapat menghasilkan pertukaran gas yang memadai dan mencegah pemadatan berlebihan pada bahan kompos dengan memberikan ruang udara bebas pada campuran.

##### 2) Parameter Suhu

Pada Gambar 2 dapat terlihat bahwa suhu pada kedua kompos berada dalam rentang 28,5-37,5°C. Suhu awal pada kompos 1 sebesar 28,7°C dan kompos 2 sebesar 28,5°C. Pada hari-1 pengomposan terjadi kenaikan suhu pada kedua kompos dimana kompos 2 mengalami peningkatan suhu yang cukup signifikan dibandingkan kompos 1 yaitu menjadi 35,1°C, sedangkan suhu pada kompos 1 naik menjadi 30,4°C. Trend kenaikan suhu ini terus berlangsung hingga hari ke-10 pengomposan yang merupakan hari tercapainya suhu maksimum pada kedua kompos. Suhu maksimum kompos 1 dan kompos 2 masing-masing adalah sebesar 34,5°C dan 37,5°C. Peningkatan suhu pada awal pengomposan ini dikarenakan ketersediaan substrat organik yang banyak sehingga menyebabkan aktivitas mikroorganisme yang tinggi. Adanya peningkatan aktivitas dekomposisi oleh mikroorganisme ini yang menyebabkan kenaikan suhu pada kompos. Setelah mencapai suhu maksimum pada hari ke-10, suhu pada kedua kompos mengalami penurunan dan perubahan suhu cenderung stabil hingga akhir pengomposan.

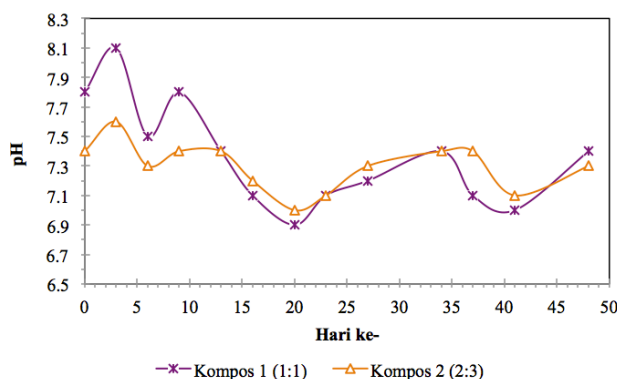


Gambar 2. Perubahan Suhu Kedua Kompos

Banyak faktor yang berpengaruh terhadap perubahan suhu pada kompos, salah satunya adalah kadar air. Kelembaban yang berlebihan dari kompos dapat menghambat sirkulasi oksigen pada pori-pori kompos sehingga menyebabkan efek merugikan pada suhu kompos (Kalamdhad et al, 2009). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, kadar air awal pada campuran kompos 1 dan kompos 2 masing-masing adalah 66,31% dan 63,58%. Tingginya kadar air awal pada kedua campuran kompos merupakan salah satu penghambat tercapainya suhu yang tinggi pada kompos. Meskipun demikian, pada rentang suhu di pengomposan ini dekomposisi bahan organik tetap dapat terjadi dikarenakan bakteri masih dapat tumbuh pada rentang suhu yang ada, hanya saja tidak tercapainya suhu tinggi dapat menjadi indikasi bahwa dekomposisi berjalan secara lambat.

### 3) Parameter pH

Perubahan nilai pH yang terjadi selama proses pengomposan dapat dilihat pada Gambar 3. Nilai pH awal pada kompos 1 dan kompos 2 masing-masing adalah 7,8 dan 7,4. Nilai pH yang lebih besar dari 7 menunjukkan bahwa campuran awal kedua kompos berada pada kondisi basa.



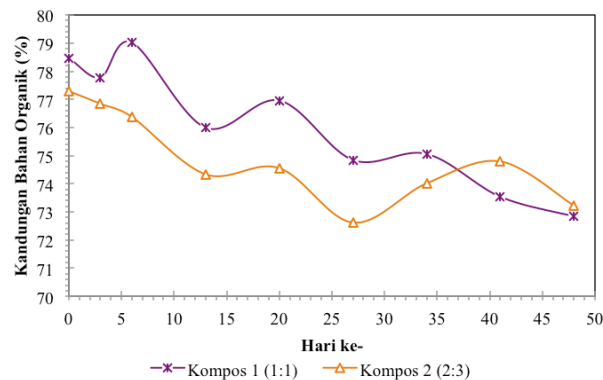
Gambar 3. Perubahan pH Kedua Kompos

Selama 20 hari awal pengomposan nilai pH pada penelitian ini memiliki kecenderungan untuk menurun. Menurut Zheng et al (2004), pada tahap awal pengomposan mikroorganisme bereproduksi sangat cepat karena tingginya bahan organik. Mikroorganisme tersebut memproduksi asam organik seperti asam asetat dan asam butirat pada tahap awal pengomposan sehingga nilai pH kompos menurun. Pada hari ke-21 hingga hari ke-34 pengomposan, nilai pH berangsur-angsur meningkat untuk kedua kompos. Menurut Huang et al (2004), peningkatan pH pada proses pengomposan dikarenakan produksi amonia selama proses amonifikasi dan mineralisasi dari senyawa-senyawa yang mengandung nitrogen sebagai hasil aktivitas mikroba. Pada akhir pengomposan, nilai pH pada kompos 1 adalah 7,4 dan kompos 2

adalah 7,3. Nilai kedua kompos ini mendekati netral dan stabil yang mengindikasikan dekomposisi nitrogen sudah berkurang dan terbentuknya humus dengan kemampuannya untuk menyangga pH (Khalil et al, 2011).

#### 4) Parameter Kandungan Bahan Organik

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah, perubahan kandungan bahan organik berfluktuasi namun memiliki kecenderungan untuk menurun seiring dengan berjalannya pengomposan. Kandungan bahan organik awal pada kompos 1 adalah sebesar 78,47% dan pada akhir pengomposan menurun menjadi 72,85%, atau terjadi pengurangan kandungan bahan organik sebesar 5,62%. Kompos 2 memiliki kandungan bahan organik awal sebesar 77,29% dan menurun menjadi 73,22% pada akhir pengomposan atau terjadi pengurangan kandungan bahan organik sebesar 4,07%. Penurunan kandungan bahan organik disebabkan karena bahan organik tersebut mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme pengurai dimana akan menstimulasi pembentukan zat humus yang stabil melalui proses mineralisasi (Banegas et al, 2007).

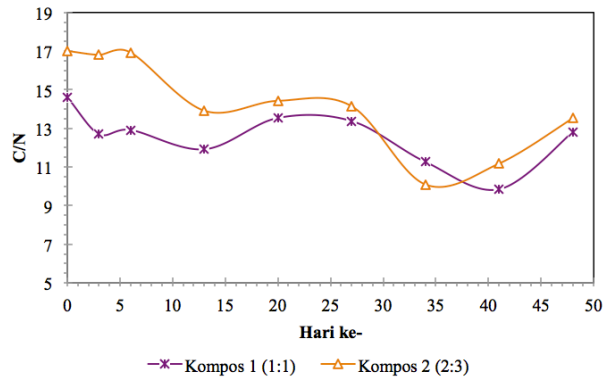


Gambar 4. Perubahan Kandungan Bahan Organik Kedua Kompos

Banegas et al (2007) menyatakan bahwa semakin besar rasio limbah lumpur dan bulking agent menghasilkan nilai biodegradabilitas yang lebih tinggi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan hal yang serupa dimana kompos 1 laju dekomposisi bahan organik yang lebih besar dibandingkan kompos 2. Hal ini dikarenakan campuran kompos dengan proporsi bulking agent yang besar membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai stabilitas bahan organik yang sama dengan campuran kompos lainnya (Doublet et al, 2011).

#### 5) Parameter C/N

Perubahan rasio C/N pada kedua kompos selama proses pengomposan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini :

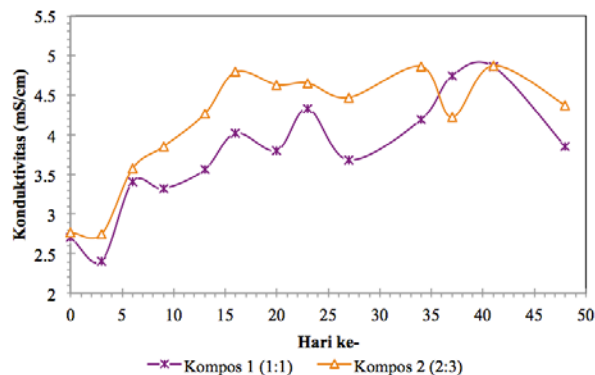


Gambar 5. Perubahan Rasio C/N Kedua Kompos

Dari Gambar 5 di atas terlihat bahwa perubahan rasio C/N pada kedua kompos menunjukkan kecenderungan untuk menurun. Penurunan rasio C/N pada pengomposan merupakan hasil dari aktivitas mikroba dalam menguraikan bahan organik yang ada pada campuran kompos (Kalamdhad et al, 2009). Pada penelitian ini, rasio C/N pada akhir pengomposan yang terdapat pada kompos 1 dan kompos 2 masing-masing adalah sebesar 12,81 dan 13,53. Rasio C/N akhir kedua kompos ini menunjukkan nilai yang baik menurut Bernal et al (2009) yang menyatakan bahwa salah satu indikasi kematangan kompos dari limbah lumpur adalah rasio C/N berada sekitar 12.

## 6) Parameter Konduktivitas

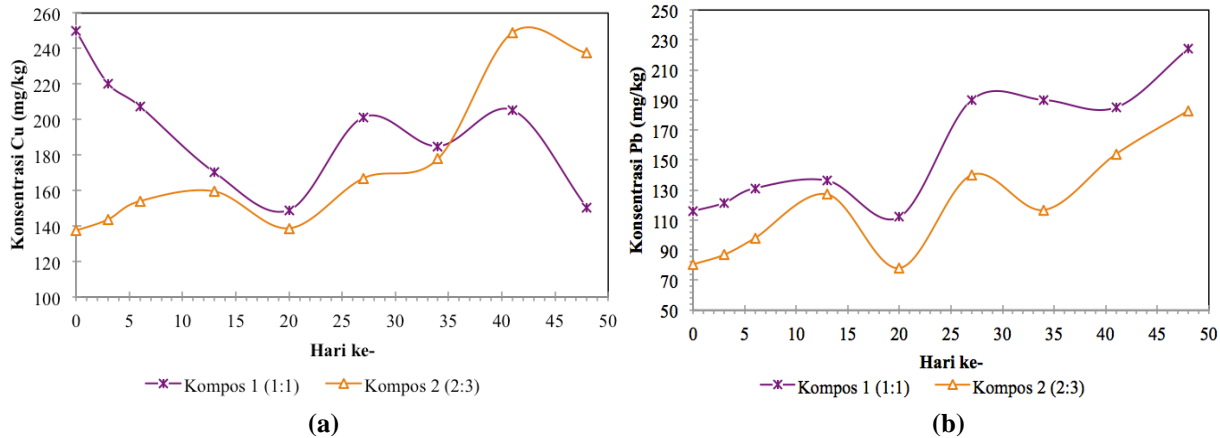
Seiring dengan berjalannya pengomposan nilai konduktivitas pada kedua kompos menunjukkan perubahan yang fluktuatif namun memiliki kecenderungan untuk meningkat, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7. Menurut Huang et al (2004), peningkatan nilai konduktivitas pada campuran kompos dikarenakan pelepasan garam mineral seperti fosfat dan ion amonium melalui dekomposisi bahan organik. Pada Gambar 7 juga terlihat bahwa selama proses pengomposan berlangsung nilai konduktivitas pada kompos 2 lebih besar dibandingkan kompos 1. Hal ini disebabkan oleh kompos 2 memiliki proporsi daun kering yang lebih banyak dibandingkan kompos 1. Garam mineral banyak ditemui pada tanaman karena garam mineral tersebut bersama dengan air dibutuhkan tanaman untuk proses fotosintesis.



Gambar 7. Perubahan Konduktivitas Kedua Kompos

### 3.2 Analisis Perubahan Konsentrasi Logam Berat

Konsentrasi logam berat pada kompos berubah-ubah bergantung dari campuran awal kompos dan perubahan fisik-kimia yang terjadi selama proses pengomposan berlangsung. Adapun perubahan konsentrasi logam Cu dan Pb pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8 :



Gambar 8. Perubahan Konsentrasi Cu (a) dan Konsentrasi Pb (b) Kedua Kompos

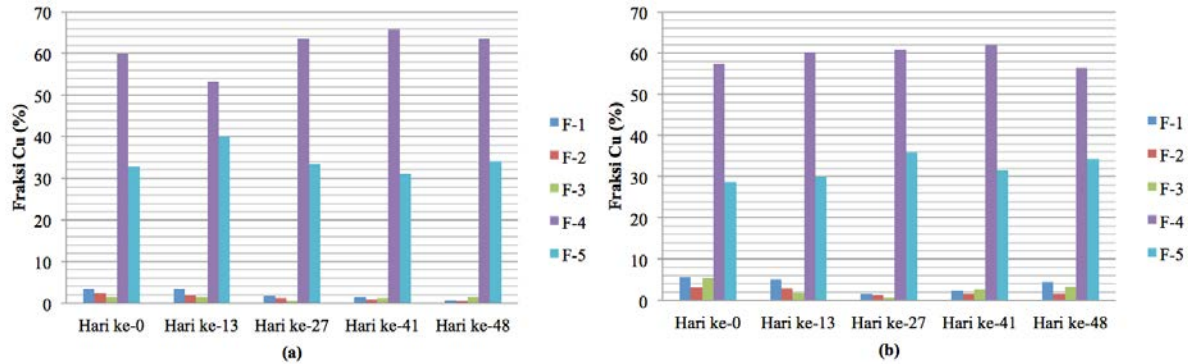
Dari Gambar 8 di atas terlihat bahwa perubahan konsentrasi logam Cu pada kedua kompos menunjukkan kecenderungan yang berbeda. Pada kompos 1 konsentrasi logam Cu mengalami penurunan hingga akhirnya pada akhir pengomposan konsentrasi logam Cu adalah sebesar 150 mg/kg, sedangkan pada kompos 2 konsentrasi logam Cu mengalami peningkatan dimana konsentrasi logam Cu pada kompos akhir adalah sebesar 237 mg/kg. Menurut Amir et al (2005), proses pengomposan dapat menyatukan (concentrate) atau melemahkan (dilute) logam berat pada limbah lumpur. Penurunan jumlah logam pada limbah lumpur bergantung dari logam yang hilang melalui leaching. Sedangkan peningkatan jumlah logam dikarenakan kehilangan berat pada campuran kompos sebagai hasil dari dekomposisi bahan organik, pelepasan CO<sub>2</sub> dan air, serta proses mineralisasi. Pada penelitian ini, penurunan konsentrasi logam Cu pada kompos 1 dapat dikarenakan terlarutnya logam Cu pada air lindi yang dihasilkan. Penurunan konsentrasi Cu tidak terjadi pada kompos 2 dikarenakan kadar air pada kompos 2 lebih kecil dibandingkan kompos 1. Semakin banyak kandungan air pada campuran limbah maka air lindi yang dihasilkan akan semakin banyak. Dengan kata lain, secara teori air lindi yang dihasilkan pada kompos 1 lebih banyak dibandingkan kompos 2, meskipun tidak terukur pada penelitian ini. Oleh karena itu logam Cu pada kompos 1 memiliki kecenderungan untuk ikut larut dalam air lindi yang dihasilkan sehingga jumlah logam Cu yang terukur pada campuran kompos berkurang.

Berbeda halnya dengan logam Cu, pada logam Pb perubahan yang terjadi pada kedua kompos menunjukkan kecenderungan yang sama. Pada Gambar 8 di atas terlihat bahwa selama proses pengomposan terjadi perubahan konsentrasi logam Pb yang fluktuatif namun memiliki kecenderungan untuk meningkat. Pada akhir pengomposan, konsentrasi logam Pb pada kompos 1 dan kompos 2 masing-masing adalah 224 mg/kg dan 183 mg/kg. Zorpas et al (2008) menjelaskan bahwa selama pengomposan, mikroba mengkonversi bahan organik yang mudah terdegradasi menjadi lebih stabil. Karena logam berat yang bersifat non-biodegradable maka proporsi materi anorganik cenderung meningkat seiring dengan terurainya bahan organik. Peningkatan konsentrasi logam Pb pada kompos 1 lebih besar dibandingkan kompos 2 dapat dipengaruhi oleh degradasi bahan organik yang terjadi pada campuran kompos. Menurut Hsu & Lo (2001), semakin tinggi laju penurunan bahan organik pada proses pengomposan maka peningkatan kandungan logam berat di dalamnya akan semakin besar karena terjadinya penurunan massa kompos yang signifikan.



### 3.3 Analisis Spesiasi Kimia Logam Berat

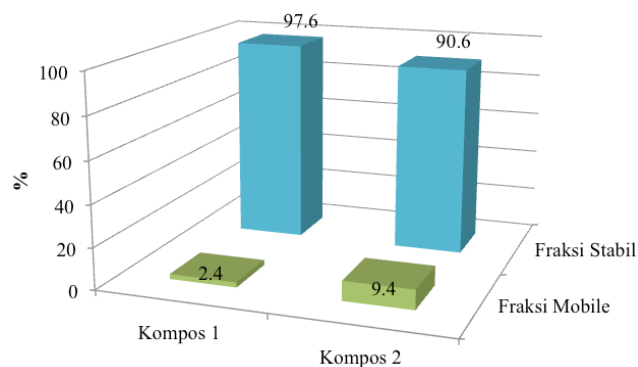
Pengomposan akan menghasilkan perkembangan populasi mikroba yang menyebabkan terjadinya variasi dari perubahan fisik-kimia pada campuran kompos. Perubahan tersebut dapat mempengaruhi distribusi logam melalui beberapa faktor seperti lepasnya logam selama mineralisasi bahan organik, solubilisasi logam oleh penurunan pH, biosorpsi logam oleh biomassa mikroba, kompleksasi logam dengan zat humus yang baru terbentuk, dan faktor lainnya (Ahmed et al, 2007). Adapun perubahan dari bentuk spesiasi kimia logam Cu pada kedua kompos dapat dilihat pada Gambar 9 berikut :



Gambar 9. Perubahan Fraksi Cu pada Kompos 1 (a) dan Kompos 2 (b)

Jika dilihat pada Gambar 9 di atas maka dapat diketahui bahwa logam Cu pada kedua kompos berada dominan pada fraksi organic bound dan diikuti oleh fraksi residual pada seluruh tahapan pengomposan. Pada akhir pengomposan, fraksi organic bound dan residual pada kompos 1 adalah sebesar 62,60% dan 30,46% dari konsentrasi total Cu, sedangkan pada kompos 2 sebesar 56,20% dan 30,40%. Logam yang berada pada fraksi organic bound dianggap sebagai logam yang tidak mobile karena bercampurnya logam pada zat humus stabil (Paradelo et al, 2010). Sedangkan logam yang berada pada fraksi residual terikat erat pada struktur kristal dari mineral dan susah lepas dari tahanan kisi kristal. Hal ini mengindikasikan logam berada pada bentuk stabil dan dapat dianggap tidak tersedia untuk penyerapan tanaman (Zhu et al, 2014).

Untuk mengevaluasi potensial mobilitas dan bioavailabilitas logam Cu pada kedua kompos, maka dapat ditentukan dengan membandingkan jumlah logam Cu yang berada pada F-1 hingga F-3 (fraksi mobile) dengan jumlah Cu yang berada pada F-4 dan F-5 (fraksi stabil). Berikut Gambar 10 yang menunjukkan perbandingan persentase konsentrasi logam Cu pada fraksi mobile dan stabil yang terdapat pada kompos 1 dan kompos 2 di akhir pengomposan :

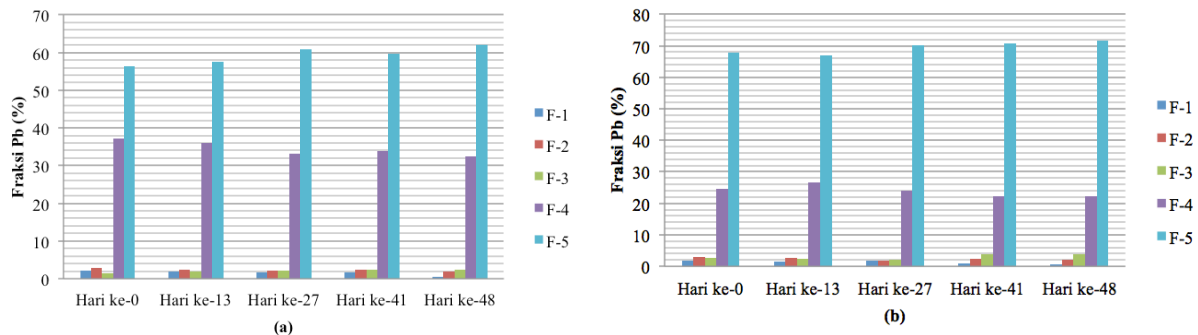


Gambar 10. Perbandingan Jumlah Logam Cu pada Fraksi Mobile dan Stabil Kedua Kompos



Pada Gambar 10 diatas terlihat bahwa pada akhir pengomposan persentase logam Cu pada fraksi stabil lebih besar dibandingkan pada fraksi *mobile* pada kedua kompos. Dominannya fraksi stabil logam Cu pada pengomposan ini mengindikasikan bahwa logam Cu yang terkandung pada kedua kompos tidak memberikan efek fitotoksisitas yang signifikan apabila kompos diaplikasikan ke tanah. Hal ini dikarenakan logam Cu memiliki afinitas yang tinggi pada bahan organik sehingga tidak mudah termobilisasi pada proses pengomposan (Nomeda et al, 2008).

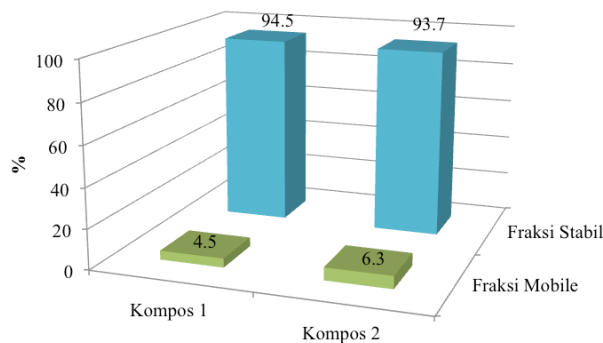
Sedangkan perubahan dari bentuk spesiasi kimia logam Pb pada kedua kompos dapat dilihat pada Gambar 11 berikut :



Gambar 11. Perubahan Fraksi Pb pada Kompos 1 (a) dan Kompos 2 (b)

Selama proses pengomposan berlangsung, distribusi logam Pb pada kedua kompos dominan pada F-5 yaitu fraksi *residual* dan selanjutnya diikuti oleh F-4 yaitu fraksi *organic bound*. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 10 di atas, persentase jumlah logam Pb pada fraksi *residual* kompos 1 dan kompos 2 berturut-turut di akhir pengomposan adalah 62,10% dan 71,50% dari total konsentrasi logam Pb. Keberadaan logam Pb pada fraksi ini menunjukkan bahwa kedua kompos tidak memiliki efek toksik dan bersifat stabil sehingga logam Pb tidak akan lepas ke lingkungan. Hal yang serupa juga dilaporkan oleh Nomeda et al (2008) yang menunjukkan bahwa logam Pb sebesar 70% berada pada fraksi *residual* dan total sebesar 82% logam Pb berada pada fraksi stabil (*organic bound* dan *residual*).

Secara garis besar perbandingan distribusi logam Pb pada fraksi yang bersifat *mobile* dan stabil dapat dilihat pada Gambar 12 di bawah :



Gambar 12. Perbandingan Jumlah Logam Pb pada Fraksi Mobile dan Stabil Kedua Kompos

Menurut Zhu et al (2014), mobilitas umunya digunakan untuk menyatakan kemungkinan migrasi suatu unsur ke lingkungan. Pada Gambar 11 di atas terlihat bahwa pada akhir pengomposan, jumlah logam Pb pada fraksi yang bersifat *mobile* adalah sebesar 4,5% untuk kompos 1 dan 6,3% untuk kompos 2. Kecilnya konsentrasi logam Pb pada fraksi *mobile* dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Amir et al (2005) dimana logam Pb tidak terdeteksi pada fraksi *mobile* dikarenakan karakteristik logam Pb dikenal sebagai logam yang tidak mudah larut dalam air.

### 3.4 Analisis Hubungan dan Pengaruh pH, Suhu, dan Kandungan Bahan Organik Terhadap Konsentrasi dan Distribusi Logam Berat

Korelasi Pearson dilakukan untuk melihat tingkat keeratan hubungan konsentrasi tiap fraksi logam Cu dan Pb terhadap parameter pH, suhu, dan kandungan bahan organik. Adapun rekapitulasi hasil koefisien korelasi Pearson yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Koefisien Korelasi Konsentrasi Logam Berat Terhadap pH, Suhu, dan Bahan Organik

Logam	Kompos 1			Kompos 2		
	pH	Suhu	Bahan organik	pH	Suhu	Bahan organik
<b>Cu</b>						
Total konsentrasi	0,368	-0,542	0,727	-0,823	0,242	-0,393
F-1	0,695	-0,750	0,985**	0,276	-0,307	0,142
F-2	0,696	-0,756	0,986**	0,173	-0,266	0,567
F-3	0,631	-0,854	0,646	0,229	-0,681	0,453
F-4	-0,077	-0,144	0,318	-0,883*	0,408	-0,495
F-5	0,266	-0,370	0,805	-0,746	0,408	-0,651
<b>Pb</b>						
Total konsentrasi	-0,610	0,679	-0,936*	-0,542	0,567	-0,790
F-1	-0,311	0,164	0,348	-0,020	0,511	-0,245
F-2	-0,585	0,425	-0,847	-0,909*	0,411	-0,337
F-3	-0,576	0,595	-0,953*	-0,880*	0,232	-0,355
F-4	-0,448	0,450	-0,893*	-0,815	0,732	-0,718
F-5	-0,454	0,486	-0,897*	-0,884*	0,572	-0,648

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa pada kompos 1, total konsentrasi logam Pb memiliki hubungan negatif dan signifikan terhadap kandungan bahan organik,  $r=-0,936$ ;  $p<0,05$ . Hal ini dapat diartikan bahwa semakin menurun kandungan bahan organik pada kompos maka total konsentrasi logam Pb akan meningkat. Terdapat hubungan positif dan signifikan antara jumlah logam Cu pada F-1 dan F-2 terhadap kandungan bahan organik,  $r=0,985$ ;  $p<0,01$  dan  $r=0,986$ ;  $p<0,01$ . Artinya, penurunan kandungan bahan organik akan menurunkan konsentrasi Cu pada F-1 dan F-2. Selain itu, terdapat hubungan negatif dan signifikan antara jumlah logam Pb pada F-3, F-4, dan F-5 terhadap kandungan bahan organik,  $r=-0,953$ ;  $p<0,01$ ;  $r=-0,893$ ;  $p<0,01$  dan  $r=-0,897$ ;  $p<0,01$ . Artinya, semakin menurun kandungan bahan organik maka konsentrasi logam Pb pada ketiga fraksi ini akan semakin meningkat. Sedangkan untuk kompos 2, terdapat hubungan negatif yang kuat dan signifikan antara konsentrasi logam Pb pada F-2, F-3, dan F-5 dengan pH,  $r=-0,909$ ;  $p<0,01$ ;  $r=-0,880$ ;  $p<0,01$ , dan  $r=-0,884$ ;  $p<0,01$ . Sedangkan untuk logam Cu, hanya konsentrasi F-4 yang memiliki hubungan negatif sangat kuat dan signifikan terhadap pH,  $r=-0,883$ ;  $p<0,01$ . Artinya, penurunan/peningkatan pH akan memberikan kondisi yang sebaliknya terhadap konsentrasi logam Pb pada ketiga fraksi tersebut dan konsentrasi logam Cu pada F-4.

### 3.5 Analisis Kualitas Kedua Kompos

Analisis kualitas kompos dinilai dari dua hal yaitu parameter fisik-kimia kompos dan konsentrasi logam beratnya. Untuk parameter fisik-kimia kompos, perbandingan karakteristik kompos akhir pada penelitian ini dengan standar kualitas kompos yang berlaku dapat dilihat pada Tabel 5 berikut :

Tabel 5. Perbandingan Kualitas Kompos yang Dihasilkan dengan Standar Kualitas Kompos yang Berlaku

Parameter	Satuan	Hasil Penelitian		Standar Kualitas Kompos	
		Kompos 1	Kompos 2	SNI 19-7030-2004	Standar Lain
pH	-	7,40	7,30	6,80 – 7,49	-
Suhu	°C	31,20	31,50	Suhu air tanah	-
Konduktivitas	mS/cm	3,85	4,37	-	5*
Kadar air	%	60,05	56,97	Maks. 50	-
Kandungan bahan organik	%	72,85	73,22	27 – 58	-
Kadar Karbon	%	22,81	28,00	9,80 – 32	-
Kadar Nitrogen	%	1,78	2,07	Min. 0,4	-
Rasio C/N	-	12,81	13,53	10 – 20	-

Jika dilihat pada Tabel 5 di atas, maka sebagian besar dari parameter kualitas kompos hasil penelitian ini memenuhi standar yang ditetapkan, kecuali parameter kadar air dan kandungan bahan organik. Tingginya kadar air dan kandungan bahan organik pada kedua kompos dapat dikarenakan proses maturasi atau pematangan kompos yang belum selesai. Selain itu dapat juga dikarenakan suhu pengomposan yang tidak mencapai optimal.

Sedangkan kualitas kompos jika dinilai dari konsentrasi logam berat dapat dilihat dari Tabel 6 di bawah. Untuk membandingkan antara batas konsentrasi logam pada kompos di Indonesia dengan negara lain maka ditampilkan juga standar konsentrasi logam pada kompos limbah lumpur dari beberapa negara.

Tabel 6. Perbandingan Konsentrasi Logam pada Kompos dengan Standar yang Berlaku

Logam Berat	Konsentrasi Logam (mg/kg)							
	Kompos 1	Kompos 2	Indonesia	Poland <sup>1</sup>	Spain <sup>1</sup>	Australia <sup>1</sup>	US <sup>2</sup>	Belgium <sup>3</sup>
Cu	150,40	237,37	100	300	450	200	300	300
Pb	224,10	182,99	150	350	300	200	150	140

Jika dibandingkan dengan standar Indonesia yaitu SNI No. 19-7030-2004, maka konsentrasi logam Cu dan Pb pada kedua kompos tidak memenuhi kriteria yang disyaratkan. Meskipun konsentrasi logam Cu dan Pb pada penelitian ini melebihi batas yang disarankan, tetapi kedua logam ini tidak memberikan efek toksik pada lingkungan jika ditinjau dari bentuk spesiasi kimianya. Hal ini dikarenakan berdasarkan hasil pemeriksaan spesiasi kimia, konsentrasi tertinggi kedua logam dominan berada pada fraksi *stabil*.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pada akhir pengomposan suhu kompos 1 dan kompos 2 masing-masing sebesar 31,20°C dan 31,50°C; pH 7,4 dan 7,3; konduktivitas sebesar 3,85 mS/cm dan 4,37 mS/cm, C/N sebesar 12,81 dan 13,53, kandungan bahan organik adalah 72,85% dan 73,22%, sedangkan untuk kadar airnya adalah sebesar 60,05% dan 56,97%.
2. Pada akhir pengomposan, konsentrasi logam Cu pada kompos 1 dan kompos 2 masing-masing sebesar 150 mg/kg dan 237 mg/kg. Sedangkan konsentrasi logam Pb akhir pada kompos 1 adalah sebesar 224 mg/kg dan pada kompos 2 sebesar 183 mg/kg. Konsentrasi kedua jenis logam ini masih melebihi konsentrasi logam yang diizinkan pada kualitas akhir kompos berdasarkan SNI No. 19-7030-2004. Meskipun demikian, besarnya resiko logam Cu dan Pb terhadap lingkungan adalah rendah sehingga kedua kompos dapat dipertimbangkan untuk diaplikasikan ke tanah.
3. Proses pengomposan telah mengurangi efek toksisitas dan mobilitas logam Cu dan Pb. Pada kedua kompos, spesiasi kimia dari logam Cu dominan pada fraksi carbonate bound. Sedangkan logam Pb dominan pada fraksi residual. Kedua logam tersebut berada pada fraksi yang stabil sehingga tidak mudah lepas ke lingkungan dan memiliki efek fitotoksik yang rendah.

## Referensi

- [1] Amir, S., Hafidi, M., Merlina, G., & Revel, J.-C. (2005). Sequential extraction of heavy metals during composting of sewage sludge. *Journal of Chemosphere*, 801-810.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. (2004). SNI 19-7030-2004 : Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [3] Banegas, V., Moreno, J., Moreno, J., Garcia, C., Leon, G., & Hernandez, T. (2007). Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. *Journal of Waste Management*, 1317-1327.
- [4] Fuentes, A., Llorens, M., Saez, J., Soler, A., Aguilar, M. I., Ortuno, J. F., et al. (2004). Simple and Sequential Extraction of Heavy Metals from Different Sewage Sludges. *Journal of Chemosphere*, 1039-1047.
- [5] Guo-Di, Z., Ding, G., Tong-Bin, C., & Wei, L. (2007). Stabilization of nickel and chromium in sewage sludge during aerobic composting. *Journal of Hazardous Materials*, 216-221.
- [6] Guo-Di, Z., Ding, G., Tong-Bin, C., & Wei, L. (2007). Stabilization of nickel and chromium in sewage sludge during aerobic composting. *Journal of Hazardous Materials*, 216-221.
- [7] He, M., Li, W., Liang, X., Wu, D., & Tian, G. (2009). Effect of composting process on phytotoxicity and speciation of copper, zinc and lead in sewage sludge and swine manure. *Journal of Waste Management*, 590-597.
- [8] Jakubus, M., & Czekala, J. (2001). Heavy Metal Speciation in Sewage Sludge. *Journal of Environmental Studies*, 245-250.
- [9] Kalamdhad, A., & Kazmi, A. (2009). Effects of turning frequency on compost stability and some chemical characteristics in a rotary drum composter. *Journal of Chemosphere*, 1327-1334.
- [10] Khalil, A., Hassouna, M., El-Ashqar, H., & Fawzi, M. (2011). Changes in physical, chemical and microbial parameters during the composting of municipal sewage sludge. *Microbiology Biotechnology*, 2359-2369.
- [11] Smith, S. R. (2009). A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 142-156.
- [12] Villasenor, J., Rodriguez, L., & Fernandez, F. (2011). Composting Domestic Sewage Sludge With Natural Zeolites In a Rotary Drum Reactor. *Journal of Bioresource Technology*, 1447-1454.
- [13] Yanez, R., Alonso, J., & Diaz, M. (2009). Influence of bulking agent on sewage sludge composting process. *Journal of Bioresource Technology*, 5827-5833.
- [14] Zhu, H.-n., Yuan, X.-z., Zeng, G.-m., Jiang, M., Liang, J., Zhang, C., et al. (2012). Ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Xiawan Port based on modified potential ecological risk index. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 1470-1477.