

**ANALISIS SPASIAL PENCEMARAN LOGAM BERAT
(Pb DAN Cd) PADA SEDIMEN ALIRAN SUNGAI
DARI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA)
SAMPAH JATIBARANG SEMARANG**



Tesis
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-2

Magister Kesehatan Lingkungan

SUDARWIN
NIM : E4B006100

PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2008

PENGESAHAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa tesis yang berjudul:

ANALISIS SPASIAL PENCEMARAN LOGAM BERAT (Pb DAN Cd) PADA SEDIMEN ALIRAN SUNGAI DARI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH JATIBARANG SEMARANG

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : Sudarwin
NIM : E4B006100

Telah disetujui dan dipertahankan di depan Dewan penguji pada tanggal 2 Juni 2008
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima.

Pembimbing I,

Pembimbing II,

dr. Onny Setiani, Ph.D
NIP: 131958807

Ir. Mursid Raharjo, M.Si
NIP: 132174829

Penguji I,

Penguji II,

Soedjono, SKM, MKes
NIP: 140090033

Dra. Sulistiyani, MKes
NIP: 132062033

Semarang, Juni 2008

Mengetahui
Ketua Program Studi
Kesehatan Lingkungan

dr. Onny Setiani, Ph.D
NIP: 131958807

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SUDARWIN

NIM : E4B006100

JUDUL : ANALISIS SPASIAL PENCEMARAN LOGAM
BERAT (Pb DAN Cd) PADA SEDIMEN
ALIRAN SUNGAI DARI TEMPAT
PEMBUANGAN AKHIR (TPA) SAMPAH
JATIBARANG SEMARANG

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang dipernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan lembaga pendidikan lainnya. Pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum/tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan dalam tulisan dan daftar pustaka. Penulisan ini adalah karya pemikiran saya, oleh karena ini sepenuhnya merupakan tanggung jawab saya.

Semarang, Mei 2008

Sudarwin

PERSEMBAHAN

Karya ini kupersembahkan untuk :

"Sekar Ayu" putri tunggalku

RIWAYAT HIDUP

Nama : Sudarwin
Tempat, tanggal lahir : Sleman, 22 Pebruari 1969
Alamat : Jl.Taman Puspogiwang No.I
RT 03 RW I Semarang Barat
Telp.(024) 7611315
Agama : Islam
Status : Kawin

Riwayat Pendidikan :

1. SD Negeri Karangmloko II, Sleman, tahun 1982
2. SMP Negeri Donoharjo, Sleman, tahun 1985
3. SMAK Depkes RI Yogyakarta, tahun 1988
4. Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan "YLH", Yogyakarta, tahun 1997
5. Program Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang, tahun 2008

Riwayat Pekerjaan:

1. Balai Laboratorium Kesehatan (BLK) Yogyakarta tahun 1989 – 1999.
2. Balai Laboratorium Kesehatan (BLK) Semarang tahun 1999 – sekarang
3. Laboratorium CITO Semarang tahun 2000 – sekarang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, atas berkat bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul ***“Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) Pada Sedimen Aliran Sungai Dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang.”***

Penelitian ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan tugas penyusunan tesis dalam rangka untuk memperoleh derajat Sarjana S-2 pada Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Penulisan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Direktur Pasca Sarjana Universitas Diponegoro beserta staf yang telah memberi fasilitas serta kemudahan selama mengikuti pendidikan;
2. Ibu dr.Onny Setiani, Ph.D selaku pembimbing utama yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam membimbing dan memberikan pengarahan dalam menyusun tesis ini.
3. Bapak Ir.Mursid Raharjo, M.Si selaku pembimbing pendamping yang memberikan bimbingan dan arahan yang sangat bermanfaat dalam penyusunan tesis ini.
4. Ibu dr.Sri Widayati, Sp.PK., Kepala Balai Laboratorium Kesehatan Propinsi Jawa Tengah yang telah memberi kesempatan dan memberi izin untuk mengikuti pendidikan.
5. Ketua Program Studi Magister Kesehatan Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang atas bimbingan selama penulis mengikuti pendidikan.
6. Kepala Dinas Kebersihan Kota Semarang dan Pengelola TPA Jatibarang Semarang yang telah membantu dalam melakukan penelitian.
7. Keluarga besar Sudarman Darmorejo Yogyakarta dan Keluarga besar Panut Hadi Mulyono Semarang atas dukungan dan doanya selama ini.

8. Istriku **"Kunthi Erni"** dan putri tunggalku **"Sekar Ayu"** kaulah semangatku.
9. Rekan – rekan mahasiswa Program Magister Kesehatan Lingkungan Undip Semarang angkatan 2006, terima kasih atas semangat dan kebersamaannya.
10. Semua pihak yang telah membantu baik langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari dengan sepenuh hati, bahwa penulisan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, maka dengan kerendahan hati penulis mohon masukan, kritik dan saran yang membangun serta dapat bermanfaat bagi semua.

Semarang, Juni 2008

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan Tesis.....	ii
Halaman Pernyataan.....	iii
Halaman Persembahan.....	iv
Halaman Daftar Riwayat Hidup.....	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	viii
Daftar Tabel.....	x
Daftar Gambar	xi
Daftar Lampiran.....	xii
Daftar Grafik	xiii
Daftar singkatan.....	xiv
Abstrak.....	xv
Abstract	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	8
C. Tujuan Penelitian	9
1. Tujuan Umum.....	9
2. Tujuan Khusus.....	9
D. Manfaat Penelitian	10
E. Ruang Lingkup Penelitian.....	11
F. Keaslian Penelitian	12
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Sampah	14
B. TPA.....	21
C. Logam Berat	24
D. Risiko pencemaran dan toksisitas Sampah.....	27
E. Timbal	30
F. Proses masuknya timbal dalam tubuh manusia timbal	31
G. Risiko Pb pada organ tubuh.....	33
H. Kadmium.....	39
I. Mekanisme toksisitas kadmium (Cd).....	40
J. Gejala toksisitas Cd.....	41
K. Interaksi Cd dengan unsur nutrisi lain.....	42
L. Analisis Spasial	43
M. Kerangka teori.....	45
 BAB III METODE PENELITIAN	
A. Kerangka konsep.....	46
B. Hipotesis.....	46

C.	Variabel penelitian	47
D.	Definisi operasional	48
E.	Jenis penelitian.....	48
F.	Subyek penelitian.....	49
G.	Sampel penelitian.....	49
H.	Cara pengumpulan data	50
I.	Pengolahan dan Analisis Data	51
BAB IV	HASIL PENELITIAN	
A.	Gambaran umum lokasi penelitian.....	58
B.	Hasil penelitian di lapangan.....	62
C.	Hasil analisis bivariat	71
D.	Analisis Spasial	74
BAB V	PEMBAHASAN	
A.	Pembahasan	76
B.	Keterbatasan Penelitian	83
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	
A.	Kesimpulan.....	84
B.	Saran	85

Daftar Pustaka
Lampiran

DAFTAR TABEL

Nomor tabel	Judul Tabel	Halaman
Tabel 1.1.	Keaslian Penelitian	12
Tabel 2.1.	Intake Cd per Hari pada Pria di Amerika berdasarkan kandungan Cd dalam makanan dan dalam faeses.....	40
Tabel 3.1.	Definisi Operasional	48
Tabel 3.2.	Pembobotan (scoring) dalam Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo.....	57
Tabel 4.1.	Kadar Pb dan Cd pada lindi di TPA Jatibarang.....	62
Tabel 4.2.	Kadar Pb dan Cd pada sedimen air Sungai Kreo.....	63
Tabel 4.3.	Jenis aliran Sungai Kreo	68
Tabel 4.4.	Kemiringan air Sungai Kreo.....	69
Tabel 4.5.	Jarak dari outlet.....	70
Tabel 4.6.	Rekapitulasi hasil penelitian di lapangan	71
Tabel 4.7.	Uji <i>Paired samples test</i> kadar Pb lindi dengan kadar Cd sedimen....	71
Tabel 4.8.	Uji <i>Paired samples test</i> kadar Cd lindi dengan kadar Cd sedimen...	72
Tabel 4.9.	Hasil uji kadar Pb sedimen aliran Sungai Kreo dengan jarak outlet.	72
Tabel 4.10.	Hasil uji kadar Cd dengan jarak outlet lindi.....	73
Tabel 4.11.	Rekapitulasi hasil analisis bivariat pencemaran logam berat Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo di TPA Jatibarang Semarang.	74

DAFTAR GAMBAR

Nomor gambar	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1.	Skema metabolisme Pb dalam tubuh manusia.....	32
Gambar 2.2.	Proses penghambatan produksi haemoglobin karena timbal (Pb).....	35
Gambar 2.3.	Kerangka teori analisis spasial pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen air sungai di TPA Jatibarang Semarang	45
Gambar 3.1.	Kerangka konsep.....	46

DAFTAR GRAFIK

Nomor grafik	Judul Grafik	Halaman
Grafik 4.1.	Hasil pengukuran kadar logam Pb pada bagian pinggir kanan (A)...	64
Grafik 4.2.	Hasil pengukuran kadar logam Pb pada bagian tengah (B).....	64
Grafik 4.3.	Hasil pengukuran kadar logam Pb pada bagian pinggir kiri (C).....	65
Grafik 4.4.	Hasil pengukuran kadar logam Cd pada bagian pinggir kanan (A)...	66
Grafik 4.5.	Hasil pengukuran kadar logam Cd pada bagian tengah (B).....	66
Grafik 4.6.	Hasil pengukuran kadar logam Cd pada bagian pinggir kiri (C).....	67
Grafik 4.7.	Hasil pengukuran rerata kadar Pb pada sedimen aliran Sungai Kreo	67
Grafik 4.8.	Hasil pengukuran rerata kadar Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo	68

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Lampiran		Halaman
Lampiran 1.	Surat ijin penelitian	L1.1.
Lampiran 2.	Surat Keterangan telah melakukan penelitian.....	L2.1.
Lampiran 3.	Peta topografi TPA Jatibarang	L3.1.
Lampiran 4.	Peta debit air sungai sekitar TPA Jatibarang.....	L4.1.
Lampiran 5.	Peta rencana lokasi sampling sedimen	L5.1.
Lampiran 6.	Peta lokasi sampling sedimen.....	L6.1.
Lampiran 7.	Kelas pencemaran logam Pb.....	L7.1.
Lampiran 8.	Kelas pencemaran logam Cd.....	L8.1.
Lampiran 9.	Kelas pencemaran logam Pb dan Cd.....	L9.1.
Lampiran 10.	Hasil olah data SPSS.....	L10.1.
Lampiran 11.	Hasil perhitungan pembobotan.....	L11.1.
Lampiran 12.	Hasil pemeriksaan kadar Pb dan Cd.....	L12.1.
Lampiran 13.	Foto penelitian	L13.1.

DAFTAR SINGKATAN

B3	:	Bahan Berbahaya dan Beracun
Pb	:	Plumbum (timbal)
Cd	:	Cadmium (kadmium)
Cu	:	Cuprum (tembaga)
Zn	:	Zink
TPA	:	Tempat Pembuangan Akhir
TEL	:	Tetra Ethyl Lead
TML	:	Tetra Methyl Lead
GPS	:	Global Positioning System
AAS	:	Atomic Absorbtion Spectrofotometer

ABSTRAK

Sudarwin

Analisis spasial pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen aliran sungai dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah Jatibarang Semarang.

Xvi + 86 + 11 tabel + 4 gambar + 13 lampiran

(TPA) Jatibarang merupakan sarana tempat pembuangan akhir sampah di Kota Semarang. Kandungan sampah yang beraneka ragam di TPA Jatibarang berpotensi besar di dalam pencemaran terhadap lingkungan. Hal ini bisa terjadi karena sampah yang terdekomposisi akan menghasilkan lindi (*leachate*). Lindi mengandung bahan organik maupun anorganik yang mengandung berbagai mineral dan logam seperti timbal (Pb) dan Kadmium (Cd). Kandungan logam berat ini mengalir bersama lindi masuk ke dalam sistem perairan dan mengalami proses sedimentasi di aliran Sungai Kreo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran distribusi spasial, visualisasi, eksplorasi penyebaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen aliran Sungai Kreo.

Penelitian ini dirancang dengan pendekatan *study cross sectional* (potong lintang) dengan metode survei analitik. Pengambilan sampel lindi dilakukan pada outlet lindi sedangkan untuk sampel sedimen dilakukan pada 10 titik di sepanjang sungai Kreo. Titik 1 pada jarak 150 m sebelum pembuangan lindi (bagian hulu). Untuk titik ke dua dengan jarak 10 m, sedangkan titik ke tiga sampai dengan titik ke sepuluh dengan interval jarak kurang lebih 50 m, setelah pembuangan lindi. Pengambilan setiap titik dilakukan satu kali, pada 3 bagian yaitu bagian pinggir kanan, bagian tengah dan bagian pinggir kiri (sampel sesaat/*grab sample*).

Hasil penelitian dengan AAS diperoleh hasil kadar Pb pada outlet lindi sebesar 0,136 mg/Lt, kadar Cd 0,09 mg/Lt. Kadar Pb dalam sedimen pada jarak 150 m sebelum outlet lindi 0,011 mg/kg, sedangkan kadar Cd = 0,000 mg/kg, jarak 10 m kadar Pb = 2,319 mg/kg, Cd = 0,019 mg/kg, jarak 67 m kadar Pb = 1,425 mg/kg, Cd = 0,018 mg/kg, jarak 143 m kadar Pb = 2,195 mg/kg, Cd = 0,019 mg/kg, jarak 225 m kadar Pb = 1,546 mg/kg, Cd = 0,012 mg/kg, jarak 282 m kadar Pb = 1,401 mg/kg, Cd = 0,009 mg/kg, jarak 365 meter kadar Pb = 1,079 mg/kg, Cd = 0,008 mg/kg, jarak 462 m kadar Pb = 0,728 mg/kg, Cd = 0,006 mg/kg, jarak 520 m kadar Pb = 0,961 mg/kg, Cd = 0,008 mg/kg, jarak 580 m kadar Pb = 0,604 mg/kg, Cd = 0,005 mg/kg.

Hasil analisa dengan Uji Beda (T – Test) menunjukkan ada beda antara kadar Pb pada lindi dan kadar Pb pada sedimen ($p = 0,0001$), ada beda kadar Cd pada lindi dan kadar Cd pada sedimen ($p = 0,0001$) dan pada uji regresi ada hubungan antara jarak outlet lindi dengan kadar Pb pada sedimen ($p = 0,0001$ dan $r^2 = 0,932$) dan kadar Cd pada sedimen ($p = 0,0001$ dan $r^2 = 0,907$).

Hasil analisis spasial kelas pencemaran tinggi Pb dan Cd (total) pada sedimen aliran Sungai Kreo terjadi mulai dari jarak 0 m sampai dengan jarak 143 m dari outlet lindi. Kelas sedang dimulai dari jarak 143 m sampai dengan jarak 365 m. Kelas rendah dimulai dari jarak 365 m sampai dengan jarak 580 m sepanjang aliran Sungai Kreo.

Perlu pengolahan lindi sebelum lindi masuk ke aliran Sungai Kreo dan monitor secara rutin kadar logam berat (Pb dan Cd) pada aliran Sungai Kreo.

Kata Kunci : Kadar Pb, Cd, Sedimen sungai, Lindi TPA
Pustaka : 37 (1981 – 2006)

ABSTRACT

Sudarwin

Spatial Analysis Of Heavy Metal Pollution (Pb and Cd) Within The Sediment Of The River Stream From The Final Solid Waste Disposal (FWD) Of Jatibarang, Semarang.

Xvi + 86+ 11 tables + 4 pictures + 13 enclosures

The FWD of Jatibarang is the final waste disposal for the city of Semarang. Contained with varied chemical element, this FWD may raise environment pollution. It can be happened because of the decomposed waste produces leachate. Leachate contains organic and inorganic elements. Organic elements contain minerals and metals. One of the metals within the leachate can be such heavy metals as Lead (Pb) and Cadmium (Cd). These heavy metals content stream down together with leachate into the irrigation system and undergoing a sedimentation process in Kreo River stream.

The purpose of this study is to find out the description of the spatial distribution, the visualization, and the spreading exploration of the heavy metals (Pb and Cd) within the sediment of Kreo River stream.

This study utilizes study cross sectional approach by using analytical survey. Leachate sampling is undergone once at the leachate outlet while the sediment sampling is undergone at ten spots of the Kreo River. The first spot is 150 meters from the leachate disposal (upper stream). The second spot to the tenth spot are within the interval distance of less then 50 meters after the leachate disposal. Each spot taking is undergone once at the three parts of the right edge, middle edge, and left edge of the grab sample. The inspection using AAS collects the concentration of Pb at the leachate outlet 0.136 mg/l, concentration of Cd is 0.09 mg/l. The concentration of Pb within the sediment at 150 meters before the leachate outlet is 0.011 mg/kg, while the concentration of Cd = 0.000 mg/kg. Within 10 meters from the leachate outlet, the concentration of Pb = 2.319 mg/kg, Cd = 0.019 mg/kg. Within 67 meters from the outlet, the concentration of Pb = 1.425 mg/kg, Cd = 0.018 mg/kg. Within 143 meters from the outlet, the concentration of Pb = 2.195 mg/kg, Cd = 0.019 mg/kg. Within 225 meters from the outlet, the concentration of Pb = 1.546 mg/kg, Cd = 0.012 mg/kg. Within 282 meters from the outlet, the concentration of Pb = 1.401 mg/kg, Cd = 0.009 mg/kg. Within 365 meters from the outlet, the concentration of Pb = 1.079 mg/kg, Cd = 0.08 mg/kg. Within 580 meters from the outlet, the concentration of Pb = 0.604 mg/kg, Cd = 0.005 mg/kg.

The result from the Differential Test (T – Test) show that there are concentration of Pb within the leachate and the concentration of Pb within the sediment ($p = 0.0001$). There are also concentration of Cd within the leachate and the concentration of Cd within the sediment ($p = 0.0001$). There is a distance relation between the leachate outlet and the level of Pb within the sediment in the regression test, ($p = 0.0001$ and $r^2 = 0.932$), and the concentration of Cd within the sediment ($p = 0.0001$ and $r^2 = 0.907$). The spatial analysis results the highest class of Pb and Cd pollution (totally) within the sediment of the Kreo River stream started from 0 meter to 143 meters from the leachate outlet. The medium class pollution starts from 143 meters to 365 meters. The lower class pollution starts from 365 meters to 580 meters along the Kreo River stream. It needs more leachate treating before the leachate entering the Kreo River stream and regular monitoring upon the level of heavy metal (Pb and Cd) within the Kreo River stream.

Key words : leachate, sediment, concentration of Pb, concentration Cd, and final solid waste disposal.

Bibliography : 37 (1981 – 2006)

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sejalan dengan meningkatnya laju pembangunan di semua sektor pada kondisi saat ini dan tahun - tahun yang akan datang di daerah perkotaan, telah memicu terjadinya peningkatan laju urbanisasi. Konsekuensi logis dari semua itu adalah meningkatnya aktivitas perkotaan di berbagai sektor, baik sektor perumahan, industri, perdagangan maupun sektor lainnya. Salah satu dampak dari aktivitas tersebut adalah limbah padat atau sampah. Sampah adalah limbah yang bersifat padat terdiri dari bahan organik maupun anorganik dari sisa atau residu yang timbul akibat aktifitas manusia yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan.ⁱ

Secara umum kondisi sampah kota memperlihatkan karakteristik yang khas. Kondisi sampah kota memiliki komposisi terbesar sampah organik dengan nilai rata - rata 79,164%, sedangkan sampah anorganik hanya sebesar 20,836% dengan besaran simpangan baku sebesar 9,5%.ⁱⁱ

Sejumlah 384 kota yang menimbulkan sampah sebesar 80.235,87 ton setiap hari, penanganan sampah yang diangkut untuk dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) adalah sebesar 4,2%, yang dibuang ke sungai 4,9%, yang dibakar 37,6% dan tidak tertangani sebesar 53,3%. Di wilayah perkotaan volume sampah diperkirakan akan meningkat 3 – 5 kali lipat dalam 20 tahun ke depan, dengan asumsi laju pertumbuhan penduduk di wilayah perkotaan sama seperti saat ini dan terjadi peningkatan limbah yang dihasilkan per kapita.ⁱⁱⁱ

Kota Semarang sebagai ibukota Propinsi Jawa Tengah mempunyai luas wilayah 37.370 ha. Saat ini kota Semarang berpenduduk $\pm 1.350.000$ jiwa dengan aktivitas sebagai perdagangan, pemerintahan dan industri berpotensi menghasilkan timbunan sampah sebesar $3.500 \text{ m}^3 / \text{hari}$.^{iv}

Pengelolaan sampah di kota Semarang dilakukan oleh Dinas Kebersihan Kota. Kegiatan yang dilakukan dimulai dari pengumpulan, pemindahan dan pengangkutan sampai pada akhirnya ke tempat pembuangan akhir. Lokasi tempat pembuangan akhir sampah di Jatibarang dengan luas ± 46 ha dan dioperasikan mulai tahun 1992.

Sistem pembuangan sampah di tempat pembuangan akhir sampah tersebut dengan cara *sanitary landfill* tetapi dalam pelaksanaan tidak sepenuhnya sesuai dengan ketentuan tersebut, tetapi dilakukan dengan *modified controll landfill*. Hal ini dikarenakan pengurugan tanah di TPA Jatibarang hanya biasa dilaksanakan pada musim panas sedangkan pada musim hujan penutupan sampah dengan tanah setelah ketinggian tertentu sangat sulit dilakukan.

Sumber timbunan sampah yang terdapat di Metropolitan Semarang sekitar 75% didominasi untuk sampah yang berasal dari pemukiman/rumah tangga. Selanjutnya disusul dengan sampah pasar sebesar 14% dan sampah dari kawasan industri (non B3) sebesar 4%. Timbunan sampah yang dihasilkan TPA Jatibarang mencapai $4000 \text{ m}^3 / \text{hari}$ dengan komposisi sampah organik 61,95%, kertas 12,26%, kaca 1,72%, plastik 13,39%, logam 1,80%, kain 1,55%, kantor 0,5% dan lain - lain 6,83%.^v

Sampah industri merupakan sampah yang berasal dari industri antara lain plastik, logam, polietilin, material lain turunan hidrokarbon serta bahan toksik lainnya.

Hingga saat ini industri yang mendapat pelayanan secara resmi oleh Dinas Kebersihan Kota Semarang sebanyak 15 industri, termasuk sentra industri kecil yang berada di Bugangan. Sedangkan industri kecil di wilayah Semarang yang belum terlayani oleh Dinas Kebersihan membuang sampah langsung ke TPA Jatibarang Semarang.^{vi}

Berbagai industri yang ada di Kota Semarang memberi andil dihasilkannya sampah seperti industri pembuatan batu baterai di daerah LIK Bugangan, pengecatan mobil dan industri karoseri di daerah Mangkang, Jrakah, Pedurungan, pengecoran besi/baja di daerah Tugu. Sampah B3 baterai bekas ditemukan di pemukiman pada lima kelurahan yaitu Kelurahan Kauman, Ngesrep, Kuningan, Cabean, serta Sawah Besar. Sedangkan di lokasi non pemukiman sampah baterai bekas ditemukan di Pasar Johar (0,05%), area komersial dan sapuan jalanan Jl. Pandanaran - Jl. Pemuda (0,11%) dan Balai Kota (0,33%). Sampah B3 lainnya berupa sisa cat ditemukan di TPS kawasan LIK Bugangan. Keseluruhan kegiatan tersebut menghasilkan sampah dengan kandungan logam berat yang bersifat toksik.⁶

Upaya pengelolaan sampah dilakukan melalui kegiatan pengumpulan dan pengangkutan sampah ke lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah. Tempat pembuangan akhir sampah di Kota Semarang berada di Jatibarang. Sampah yang berada di TPA ini perlu mendapat penanganan agar tidak terjadi penyimpangan dalam pembuangannya sehingga dapat mengganggu kebersihan dan keindahan serta dapat menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan yaitu timbulnya bau akibat sampah yang terdekomposisi. Bau tersebut kemudian akan mengundang lalat yang dapat menyebabkan berbagai penyakit menular. Selain itu tanah dan air permukaan maupun

air bawah tanah dapat terkontaminasi oleh cairan lindi (*leachate*) yang di dalam lindi tersebut dimungkinkan mengandung logam berat seperti timbal dan kadmium.

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah Jatibarang, secara topografi merupakan daerah berbukit dan bergelombang dengan kemiringan lereng sangat curam (lebih dari 24%), ketinggian bervariasi antara 63 - 200 m dari permukaan air laut dan di bagian bawah (terendah) mengalir Sungai Kreo yang airnya merupakan bahan baku PDAM Kota Semarang. TPA Jatibarang setiap harinya menampung 2.500 m³ atau sekitar 600 ton sampah. Sampah yang dibuang ke TPA tersebut berasal dari bermacam - macam sumber penghasil sampah seperti pemukiman/rumah tangga, kantor, hotel, pasar maupun industri. Jenis sampah tersebut dengan kandungan yang heterogen, meliputi sampah organik, anorganik, maupun sampah berbahaya/toksik.^{vii}

Proses dekomposisi sampah dihasilkan dua fraksi besar yaitu fraksi organik dan fraksi anorganik. Fraksi anorganik ini mengandung berbagai mineral, diantaranya logam-logam berat. Logam berat timbal dan kadmium yang terdapat di dalam sampah akan terdekomposisi dan larut bersama terbentuknya lindi. Semua hasil dekomposisi ini membentuk satu kesatuan dengan tanah.^{viii} Peranan tanah terhadap pengangkutan dan penghilangan bahan pencemar sangatlah besar. Proses pengangkutan tersebut ada bermacam - macam, diantaranya adalah dengan pengaliran, peresapan, dan pelumeran.

Penampungan dan degradasi sampah akan menghasilkan air lindi (*leachate*) yang merembes ke dalam tanah maupun mengalir ke permukaan tanah. Air lindi yang mengalir di permukaan tanah masuk ke dalam kolam penampungan. Di kolam ini, kandungan materi kimia dan biologi dikurangi melalui aerasi, kemudian dialirkan ke Sungai Kreo.^{ix}

Air lindi membawa material tersuspensi dan terlarut yang merupakan hasil dari degradasi sampah.⁸ Komposisi air lindi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti jenis sampah, dan kondisi spesifik setempat.^x Air lindi biasanya mengandung senyawa - senyawa organik (hidrokarbon, asam humat, fulfat, tanah dan galat) dan anorganik (natrium, kalium, magnesium, fosfat, sulfat dan senyawa logam berat) yang tinggi.^{xi} Logam berat yang sering ditemukan dalam air lindi adalah arsen, besi, kadmium, kromium, merkuri, nikel, seng, tembaga dan timbal.^{xii}

Adsorpsi senyawa logam oleh permukaan partikel tersuspensi dan sedimen di sungai menunjukkan terjadinya proses geokimia yang memindahkan logam dari larutan. Kontaminan terserap ke dalam partikel di kolam air melalui adsorpsi fisika kimia dan *uptake* (pengambilan) biologi. Akibat gravitasi, gabungan kontaminan partikel turun ke dasar sungai untuk membentuk lapisan sedimen.^{xiii} Kecepatan perpindahan kontaminan tersebut tergantung dari dua proses yaitu pemisahan dan sedimentasi.^{xiv} Beberapa mekanisme perpindahan logam di lahan basah yaitu: sedimentasi, flokulasi, adsorpsi, presipitasi, pertukaran kation dan anion, kompleksasi, oksidasi reduksi dan uptake oleh organisme.^{xv}

Proses sedimentasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain debit, kemiringan tanah, jenis tanah, dan jenis aliran. Besarnya debit akan berpengaruh terhadap kecepatan aliran sungai. Kecepatan aliran sungai yang besar akan memperlambat proses sedimentasi. Debit aliran sungai yang ada di sekitar TPA Jatibarang sangat bervariasi. Sungai Kreo mempunyai debit antara 120 - 330 m³ /detik, Sungai Kripik 150 - 190 m³ /detik, Sungai Garang 400 - 460 m³ /detik. Kemiringan dasar aliran sungai sangat berpengaruh terhadap kecepatan dan jenis

aliran. Kemiringan dengan persen (%) yang besar akan menghambat proses sedimentasi, sebaliknya kemiringan yang kecil akan mempercepat proses sedimentasi. Jenis aliran yang terdiri dari turbulen dan laminar juga mempunyai pengaruh terhadap terjadinya sedimentasi. Aliran turbulen akan mengakibatkan proses sedimentasi menjadi lambat dan terjadi penggerusan terhadap sedimen yang sudah terbentuk. Aliran laminar merupakan aliran yang tenang, sehingga proses sedimentasi berjalan lebih cepat.

Timbal dan kadmium merupakan mineral yang tergolong mikroelemen, merupakan logam berat dan berpotensi menjadi bahan toksik. Jika terakumulatif dalam tubuh, maka berpotensi menjadi bahan toksik pada makhluk hidup. Masuknya unsur Pb dan Cd ke dalam tubuh makhluk hidup dapat melalui saluran pencernaan (gastrointestinal), saluran pernafasan (inhalasi) dan penetrasi melalui kulit (topikal).

Berdasarkan uraian di atas dapat dikatakan bahwa lingkungan TPA sampah berisiko tinggi terhadap pencemaran berbagai polutan termasuk juga adanya kandungan logam berat (Pb dan Cd) yang ada dalam sampah di TPA Jatibarang Semarang.

Hasil penelitian pendahuluan yang dilakukan pada tanggal 11 September 2007 terhadap kandungan logam berat baik Pb dan Cd pada beberapa titik di TPA diperoleh hasil bahwa kadar Cd pada sedimen sungai Kreo sebelum TPA sebesar 0,00mg/kg, kadar Pb sebesar 0,83 mg/kg, kadar Cd pada sedimen Sungai Kreo sesudah TPA sebesar 0,005 mg/kg, kadar Pb sebesar 6,05 mg/kg, sedangkan kadar Cd dan Pb pada lindi masing - masing 0,003 mg/lit dan 0,083 mg/lit.

Hasil penelitian sebaran logam berat dalam sedimen dan hubungannya dengan parameter fisik dan hidrologi di Sungai Kreo Semarang bahwa masukan air lindi di

TPA Jatibarang ke Sungai Kreo menyebabkan kandungan logam berat Zn^{2+} , Cu^{2+} dan Fe total dalam sedimen di sungai mengalami peningkatan.^{xvi}

Berdasarkan permasalahan di atas, hasil penelitian pendahuluan, dan hasil penelitian sebaran logam berat sebelumnya serta pentingnya pemanfaatan air Sungai Kreo sebagai sumber air baku PDAM Kota Semarang maka perlu dilakukan penelitian analisis spasial pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen air sungai Kreo dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jatibarang Semarang.

B. Perumusan Masalah

Timbulan sampah selalu meningkat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk suatu wilayah. Tempat Pembuangan Akhir sampah merupakan bagian akhir dari usaha pengelolaan sampah. Semua jenis sampah dengan berbagai jenis dan karakteristiknya masuk ke TPA. Kota Semarang yang merupakan salah satu kota metropolitan di Indonesia dengan jumlah penduduk yang relatif banyak, dan aneka kegiatan yang menghasilkan berbagai jenis sampah. Kegiatan yang menghasilkan sampah ini dari bidang industri, jasa, rumah tangga, perdagangan dan lain - lain. Semua jenis sampah ini tidak dilakukan pemilahan. Sebagai tempat pembuangan akhir ada di TPA Jatibarang. Dengan kandungan sampah yang beraneka ragam ini TPA Jatibarang mempunyai potensi besar di dalam pencemaran terhadap lingkungan. Salah satu pencemaran yang mungkin terjadi adalah terhadap air Sungai Kreo. Hal ini bisa terjadi karena sampah yang terdekomposisi akan menghasilkan lindi. Lindi mengandung bahan organik maupun anorganik. Besarnya bahan organik dapat ditunjukkan dengan besarnya kandungan BOD. Sedangkan bahan anorganik mengandung berbagai mineral dan logam. Salah satu jenis logam yang ada dalam lindi

dapat berupa logam berat seperti timbal (Pb) dan Kadmium (Cd). Kandungan logam berat ini mengalir bersama lindi dan masuk ke dalam sistem perairan Sungai Kreo.

Masuknya logam di dalam perairan akan berinteraksi dengan berbagai faktor seperti derajat keasaman (pH) sehingga akan berpengaruh terhadap kelarutan logam. Dengan derajat keasaman tinggi akan mengubah kestabilan ikatan dari karbonat ke hidroksida. Hidroksida ini akan mudah sekali membentuk ikatan permukaan dengan partikel yang berada pada badan perairan. Lama kelamaan persenyawaan yang terjadi antara hidroksida dengan partikel yang berada dalam badan perairan akan mengendap dan membentuk lumpur (sedimen).

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

“Bagaimana distribusi spasial, visualisasi, eksplorasi pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen aliran dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang?

C. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Mengetahui gambaran distribusi spasial, visualisasi, eksplorasi penyebaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen air sungai di Sungai Kreo.

2. Tujuan Khusus

- a. Mengukur kadar logam berat Pb pada lindi dari TPA Jatibarang Semarang.
- b. Mengukur kadar logam berat Cd pada lindi dari TPA Jatibarang Semarang.

- c. Mengukur kadar logam berat Pb pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang Semarang.
- d. Mengukur kadar logam berat Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang Semarang.
- e. Menganalisis beda kadar timbal (Pb) pada lindi dengan kadar timbal (Pb) pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang Semarang.
- f. Menganalisis beda kadar kadmium (Cd) pada lindi dengan kadar (Cd) pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang Semarang.
- g. Menganalisis kadar timbal dan kadmium pada sedimen Sungai Kreo dengan jarak outlet TPA Jatibarang.
- h. Menganalisis secara spasial kadar timbal (Pb) dan kadmium (Cd) pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang untuk melihat pengaruh karakteristik wilayah.

D. Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada :

1. Bagi Instansi
 - a. Sebagai masukan bagi pengambil keputusan suatu instansi/institusi dalam menentukan kebijakan yang berkaitan dengan TPA Jatibarang Semarang.
 - b. Memberikan informasi penyebaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang Semarang.
2. Bagi Peneliti maupun Perguruan Tinggi

- a. Meningkatkan pengetahuan peneliti dan menambah masukan pengetahuan ke Perguruan Tinggi mengenai pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang Semarang.
 - b. Dapat dijadikan bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.
3. Bagi Masyarakat

Menambah pengetahuan masyarakat untuk peka terhadap situasi lingkungan di sekitar yang berhubungan dengan kesehatan.

E. Ruang Lingkup

1. Lingkup Keilmuan

Penelitian ini merupakan penelitian bidang Ilmu Kesehatan Lingkungan.
2. Lingkup Masalah

Masalah ini dibatasi pada pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang Semarang.
3. Lingkup Sasaran

Sasaran pada penelitian ini adalah TPA Jatibarang Semarang.
4. Lingkup Metode

Jenis penelitian ini merupakan penelitian *observasional*, dengan disain studi potong lintang (*cross sectional*) dengan tujuan untuk mengetahui pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen aliran sungai dan lindi TPA.
5. Lingkup Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan di TPA Jatibarang Semarang.

6. Lingkup Waktu

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan yaitu pada bulan Nopember - April 2008.

F. Keaslian Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian baru dan bersifat melengkapi hasil penelitian yang pernah dilakukan. Pada penelitian ini, peneliti menekankan pada pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen air sungai dari TPA Jatibarang. Penelitian yang pernah dilakukan adalah :

Tabel 1.1. Keaslian Penelitian

No	Peneliti Judul	Deskripsi Penelitian
1.	Sutji Wardhayani ¹⁴ Analisis risiko pencemaran bahan toksik timbal(Pb) pada sapi potong di TPA Sampah Jatibarang Semarang	Tahun : 2006 Subyek : Sapi potong di TPA Jatibarang Disain studi : <i>Study cross sectional</i> Kandungan Pb terukur : 0,1179 - 0,5813 ppm Fokus : Pb dalam urin sapi.
2.	Alfonds Andrew M ¹⁶ Sebaran logam berat dalam sedimen dan hubungannya dengan parameter fisik dan hidrologi di Sungai Kreo Semarang	Tahun : 2005 Subyek : Air Sungai Kreo Semarang Disain studi : <i>Study case control</i> Fokus : Peningkatan Zn^{2+} , Cu^{2+} dan Fe total dalam sedimen di Sungai Kreo.
3.	Bintal Amin Distribusi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn pada sedimen di Perairan Telaga Tujuh Karimun Kepulauan Riau.	Tahun : 2002 Subyek : Perairan Telaga Tujuh Karimun Kepulauan Riau Disain studi : <i>Study cross sectional</i> Fokus : Distribusi logam berat Pb, Cu dan Zn pada sedimen di perairan Telaga Tujuh secara vertikal maupun horizontal.

4. Bintal Amin Tahun : 2001
Akumulasi dan Distribusi Logam Berat Pb dan Cu pada Mangrove (Avicemia Marina) di Perairan Pantai Dumai, Riau. Subyek : Mangrove (Avicemia Marina) di Perairan Pantai Dumai, Riau)
Disain : *Study Cross sectional*

Fokus : Analisis kandungan logam berat pada akar dan daun mangrove serta untuk mengetahui apakah vegetasi tersebut dapat dijadikan indikator pencemaran logam berat di kawasan perairan Dumai.
-

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sampah

Sampah pada dasarnya mencakup banyak pengertian. Sampah merupakan semua zat/benda yang tidak dapat dipakai lagi, baik yang berasal dari rumah tangga maupun sisa hasil produksi. Pandangan mengenai sampah telah mengalami pergeseran, di mana pada saat ini telah berkembang dari persampahan yang semula sebagai “waste” sekarang menjadi pandangan sebagai komoditas yang bernilai ekonomis. Pandangan tersebut dikembangkan dalam upaya menangani persampahan sehingga mendorong pelaksanaan pengelolaan sampah secara menyeluruh atau secara holistik. Pengembangan tersebut diwujudkan dalam model 3R yaitu : *Reduction*, *Re - use*, dan *Re - Cycle*. Model pengembangan tersebut menjadi landasan strategi pengelolaan sampah perkotaan.^{xvii}

Penggolongan sampah dapat dikelompokkan menjadi 4 (empat) kelompok yaitu :

1. *Human Excreta*, merupakan bahan buangan yang dikeluarkan dari tubuh manusia yang meliputi tinja dan air seni.
2. *Sewage*, merupakan air limbah yang dibuang oleh pabrik maupun rumah tangga/pemukiman. Contohnya air bekas cucian yang masih mengandung detergen.
3. *Refuse*, merupakan bahan sisa proses industri atau hasil samping kegiatan rumah tangga. Pengertian sehari - hari *refuse* ini sering kali disebut sebagai sampah.

Contohnya adalah botol bekas, kertas bekas pembungkus bumbu dapur, sisa sayuran, daun tanaman, kertas bekas, dan lain sebagainya.

4. *Industrial waste*, merupakan bahan buangan sisa proses industri.^{xviii}

Ahli Kesehatan Masyarakat Amerika memberi batasan bahwa sampah (*waste*) merupakan sesuatu yang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang sudah dibuang yang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya. Batasan ini sampah merupakan hasil kegiatan manusia yang dibuang karena sudah tidak berguna.

Berdasarkan sumber penghasil sampah, sampah dapat dikelompok menjadi:

1. Sampah dari pemukiman (*domestic waste*). Sampah dari pemukiman terdiri dari bahan padat dari kegiatan rumah tangga yang sudah tidak terpakai lagi dan dibuang seperti kertas bekas, botol bekas, daun tanaman, sisa makanan dan lain - lain.
2. Sampah dari tempat - tempat umum. Sampah dari tempat - tempat dapat berasal dari pasar, tempat hiburan, terminal, stasiun. Sampah yang dihasilkan dapat berupa kertas, plastik, botol bekas, karton, kaleng, daun dan lain - lain.
3. Sampah dari perkantoran, tempat pendidikan, perdagangan. Sampah yang dihasilkan dapat berupa kertas, botol, plastik, karbon dan lain - lain.
4. Sampah dari jalan raya. Sampah yang dihasilkan dapat berupa plastik, botol, kertas, debu, sobekan kain, onderdil kendaraan yang jatuh, kardus, daun dan lain - lain.
5. Sampah dari industri (*industrial wates*). Sampah dari industri dapat berasal dari pembangunan industri maupun sampah dari proses produksi. Sampah yang

dihasilkan dapat berupa sampah pengepakan barang, kardus, potongan kain, plastik, kaleng dan lain - lain.

6. Sampah dari pertanian dan perkebunan. Sampah yang dihasilkan dapat berupa jerami, sisa sayur mayur, batang padi, ranting/kayu, dan daun -daunan.
7. Sampah dari pertambangan. Sampah yang dihasilkan tergantung dari jenis pertambangan yang dilakukan. Sampah yang dihasilkan dapat berupa batu, tanah, pasir, arang dan lain - lain.
8. Sampah dari peternakan dan perikanan. Sampah yang dihasilkan dapat berupa kotoran ternak, sisa makanan, bangkai binatang.⁴

1. Jenis Sampah

Sampah dapat dibagi menjadi 3 (tiga) jenis sampah yaitu sampah padat, sampah cair dan sampah dalam bentuk gas (*fume, smoke*).²⁰ Secara kimiawi sampah dapat dikelompokkan menjadi :

a).Sampah anorganik

Sampah anorganik adalah sampah yang mengandung senyawa bukan organik sehingga tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme. Sampah anorganik sulit membusuk. Termasuk sampah anorganik antara lain besi/logam, pecahan kaca, plastik, kertas dan lain - lain.

b).Sampah organik

Sampah organik adalah sampah yang mengandung senyawa organik atau tersusun atas unsur - unsur karbon, nitrogen, hidrogen serta oksigen. Sampah organik memiliki sifat mudah membusuk misalnya sisa makanan, daun -daunan, buah - buahan dan sayuran.⁴

2. Karakteristik Sampah

Berdasarkan karakteristik sampah, sampah dapat dibagi menjadi :

a). *Garbage*

Garbage adalah sampah hasil pengolahan atau pembuatan makanan, umumnya mudah membusuk dan berasal dari rumah tangga, restoran, pasar, warung makan, hotel dan lain - lain.

b). *Rubbish*

Rubbish adalah sampah yang dihasilkan dari kegiatan perkantoran, perdagangan baik yang mudah terbakar seperti kertas, karton, plastik maupun yang tidak mudah terbakar seperti kaleng, botol, pecahan kaca, gelas dan lain - lain.

c). *Ashes* (abu)

Abu merupakan sisa hasil pembakaran, termasuk di dalamnya adalah abu rokok.

d). Sampah jalanan (*street sweeping*)

Sampah jalanan adalah sampah yang berasal dari pembersihan jalan. Sampah jalanan terdiri dari campuran berbagai macam sampah, daun, kertas, plastik, pecahan kaca, dan lain - lain.

e). Sampah industri (*industrial waste*)

Sampah industri adalah sampah yang dihasilkan dari proses industri, diantaranya adalah plastik, kaca, kertas, besi. Sampah industri ini tergantung dari jenis industri yang dilakukannya.

f).Bangkai binatang (*dead animal*), adalah bangkai binatang yang sudah mati karena alam, ditabrak oleh kendaraan atau dibuang oleh orang.

g).Bangkai kendaraan (*abandoned vehicle*) adalah bangkai sepeda, bangkai motor atau bangkai mobil.

h).Sampah pembangunan (*contruction waste*)

Sampah pembangunan adalah sampah yang dihasilkan dari proses pembangunan gedung maupun rumah. Sampah pembangunan dapat berupa puing - puing, potongan kayu, besi beton, dan batu bata.^{xix}

3. Laju Timbunan Sampah

Laju timbulan sampah adalah jumlah sampah yang dihasilkan dari buangan domestik dan non domestik. Jadi timbulan sampah adalah jumlah sampah yang dihasilkan m³ per hari dalam satu periode. Negara - negara berkembang seperti Indonesia faktor musim sangat besar pengaruhnya terhadap berat sampah. Dalam hal ini musim yang dimaksud adalah penghujan dan kemarau. Disamping hal tersebut berat sampah juga dipengaruhi oleh faktor sosial budaya lainnya. Penggunaan besaran timbulan sampah dalam perencanaan sebaiknya berdasarkan sumber sampah, bukan berdasarkan jenis kotanya.

4. Pengolahan Sampah

Pengolahan sampah yang paling banyak digunakan antara lain adalah:

a).*Open Dumping*

Cara *open dumping* merupakan cara yang paling mudah dan murah dilakukan namun banyak menimbulkan dampak pencemaran. Setelah sampah di lokasi TPA sampah dibuang begitu saja. Dampak yang ditimbulkan dari cara ini antara lain

bau yang tidak sedap, sampah berserakan, dan dimungkinkannya menjadi sarang bibit penyakit dan tempat berkembang biak vektor penyakit seperti kecoa, lalat dan tikus.

b).Incineration

Metode *incineration* merupakan metode pembakaran sampah yang perlu diawasi dengan baik, metode ini sangat sederhana dan biaya yang murah. Pada metode ini zat padat yang tersisa berupa abu yang jumlahnya relatif lebih kecil dibandingkan volume semula. Demikian juga bau busuk dan berkembangbiaknya vektor penyakit seperti tikus, lalat dan kecoa dapat diminimalisasi.

c).Sanitary Landfill

Metode *sanitary landfill* merupakan metode yang dianjurkan. Pada metode ini sampah dibuang, ditutup dengan tanah dan bersamaan dengan ini dipadatkan dengan alat berat agar menjadi lebih mampat. Lapisan di atasnya dituangkan sampah berikut tanah secara berlapis dan demikian seterusnya sampai akhirnya rata dengan permukaan tanah.

d).Composting

Metode *composting*, sampah diolah secara fermentatif. Secara periodik tumpukan sampah dibolak - balik agar fermentasi dapat berjalan dengan baik dan merata. Pencemaran lingkungan yang ditimbulkan tidak seberat penimbunan terbuka. Proses pembuatan pupuk pada metode *composting* ini berjalan lambat diperlukan waktu sekitar dua bulan.

e).Daur ulang

Metode daur ulang, sampah dikelompokkan menurut jenisnya, kemudian setiap kelompok sampah diolah sendiri menjadi produk/hasil yang berharga. Kertas bekas diolah lagi menjadi kertas baru. Hal ini dapat juga dilakukan terhadap jenis sampah logam, plastik, gelas. Jenis sampah dedaunan, sisa sayuran dan buah - buahan yang mudah busuk, oleh karena itu perlu penanganan yang khusus.

f).Fermentasi Anaerobik

Sampah dirombak oleh mikroorganisme tertentu, tanpa udara menjadi gas metan dan karbondioksida.^{xx}

Pengelolaan sampah yang tidak baik dapat menimbulkan dampak secara langsung yaitu timbulnya pencemaran lingkungan sehingga terjadi penurunan kualitas lingkungan. Sampah merupakan media untuk hidup yang baik bagi mikroorganisme sehingga mikroba yang berbahaya/patogen dapat hidup dengan baik, serta mikroba tersebut dapat mempengaruhi kualitas kesehatan manusia.

Dampak tidak langsung dapat disebabkan oleh adanya pembusukan dan pembakaran sampah. Dekomposisi anaerobik sampah menghasilkan cairan *leachate* (lindi) dan gas. *Leachate* kemungkinan besar mengandung bahan - bahan beracun bagi kehidupan. *Leachate* dapat mengandung mikroba patogen dan logam berat berbahaya.

B. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah

Prinsip dari pembuangan akhir sampah adalah untuk memusnahkan sampah domestik atau yang diklasifikasikan sejenis, ke suatu pembuangan akhir dengan cara sedemikian rupa, sehingga tidak atau seminimal mungkin menimbulkan gangguan

terhadap lingkungan di sekitarnya, baik setelah dilakukan pengolahan maupun tanpa diolah terlebih dahulu.⁶

Pada dasarnya kegiatan operasional akhir merupakan kegiatan yang dapat mengubah bentuk lahan. Kegiatan ini dapat menimbulkan kerusakan serta kemerosotan sumber daya lahan, air, dan udara. Lokasi pembuangan akhir sampah sebaiknya sudah tercakup dalam perencanaan tata ruang kota. Tahapan selanjutnya adalah membuat konsep perencanaan penataan kembali lokasi pembuangan akhir sampah yang telah habis masa pakainya.

Persyaratan pemilihan lokasi TPA pada umumnya berdasarkan kriteria regional, kriteria penyisihan dan kriteria penetapan.⁶

1. Kriteria Regional

Kriteria regional adalah batasan penentuan yang digunakan untuk menemukan zona yang layak atau tidak layak berdasarkan batasan sesuai dengan pengembangan wilayah, rencana tata ruang kondisi geologi, topografi, dan geohidrologi.

a). Pengembangan wilayah dan tata ruang

Lokasi yang ditinjau apakah merupakan daerah produktif yang akan dikembangkan baik untuk industri, pertanian, pariwisata, pemukiman, dan lokasi pendidikan sesuai dengan pengembangan tata ruang yang telah ada.

Lokasi diharapkan tidak berada pada pengembangan daerah tersebut.

b). Kondisi geologi

Kondisi yang dipilih tidak berada pada daerah bahaya geologi atau patahan

c). Kondisi geohidrologi

Lokasi tidak berada pada daerah yang memiliki muka air tanah kurang dari 3 meter. Kondisi butiran tanah tidak memiliki tingkat kelulusan tanah yang tinggi. Jarak terhadap sumber dan mata air harus lebih dari 1000 meter terutama di daerah hilir. Apabila persyaratan tersebut tidak diperoleh perlu dilakukan teknologi yang mampu menahan perembesan air sampah pada sumber air permukaan dan air tanah.

d). Kondisi topografi

Kondisi topografi sebaiknya cukup datar dengan kemiringan zona kurang dari 20% dengan kondisi kelerengan yang cukup stabil.

e). Jauh dari fasilitas publik dan tidak boleh berada pada daerah kawasan lindung atau cagar alam.

2. Kriteria Penyisihan

Kriteria penyisihan adalah merupakan batasan penilaian yang digunakan untuk memilih lokasi terbaik dari beberapa lokasi untuk perencanaan TPA yang diusulkan pada tahap awal. Kriteria penyisihan meliputi :

a). Kondisi klimatologi

Daerah yang mempunyai intensitas hujan yang relatif kecil. Hal ini untuk menghindari produksi lindi yang berlebihan yang berakibat dapat mempercepat fermentasi sampah organik. Temperatur dari daerah tapak cukup menghalangi proses pembusukan sampah tidak secara alami. Apabila tidak, maka akan terjadi pembentukan gas metan yang cukup banyak sehingga mudah terbakar.

Arah angin tidak mampu membawa butiran sampah atau bau ke areal pemukiman terdekat.

b). Kondisi biologi

Keanekaragaman habitat biologi yang ada rendah dan lokasi kurang menunjang kehidupan flora dan fauna sehingga tidak mengganggu lingkungan yang sudah ada.

c). Lahan yang digunakan tidak produktif

Luas lahan yang cukup sehingga mempunyai kemampuan pengolahan yang cukup lama sesuai dengan kebutuhan. Ketersediaan tanah penutup dalam jumlah yang banyak dan tidak jauh dari lokasi, lebih baik berasal dari lokasi itu sendiri. Lokasi mempunyai tingkat kepadatan yang cukup rendah atau jauh dari lokasi pemukiman. Lokasi pada jalur administratif daerah pelayanan pengelolaan. Berkaitan dengan peroperasian TPA nantinya perlu dicari lokasi yang tidak bising. Pada daerah ini diperlukan daerah penyangga yang berfungsi sebagai peredam bau dan lokasi ini haruslah cukup terisolir sehingga tidak mengurangi estetika lingkungan daerah sekitarnya.

3. Kriteria Penetapan

Kriteria penetapan adalah kriteria yang digunakan oleh instansi berwenang untuk menyetujui dan menetapkan lokasi terpilih sesuai dengan kebijaksanaan serta ketentuan yang berlaku di daerah studi. Kriteria tersebut diharapkan akan terdapat evaluasi paling akhir sebelum suatu daerah ditetapkan sebagai lokasi TPA.

C. Logam Berat

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria - kriteria yang sama dengan logam-logam yang lain. Perbedaan terletak pada dari pengaruh yang dihasilkan bila logam berat ini masuk atau diberikan ke dalam tubuh organisme hidup.^{xxi}

Istilah logam berat sebetulnya sudah dipergunakan secara luas, terutama dalam perpustakaan ilmiah, sebagai unsur yang menggambarkan bentuk dari logam tertentu. Karakteristik dari kelompok logam berat adalah sebagai berikut:

1. Memiliki spesifikasi grafitasi yang sangat besar (lebih dari 4).
2. Mempunyai nomor atom 22 - 23 dan 40 - 50 serta unsur lantanida dan aktinida.
3. Mempunyai respon biokimia yang khas (spesifik) pada organisme hidup.²³

Semua logam berat dapat dikatakan sebagai bahan beracun yang akan meracuni makhluk hidup. Sebagai contoh logam berat air raksa (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan krom (Cr). Namun demikian, meskipun semua logam berat dapat mengakibatkan keracunan atas makhluk hidup, sebagian dari logam - logam berat tersebut dibutuhkan oleh makhluk hidup. Kebutuhan tersebut dalam jumlah yang sangat kecil/sedikit. Tetapi apabila kebutuhan yang sangat kecil tersebut tidak terpenuhi dapat berakibat fatal terhadap kelangsungan makhluk hidup. Karena tingkat kebutuhan yang sangat dipentingkan maka logam - logam tersebut juga dinamakan sebagai logam - logam esensial tubuh. Bila logam - logam esensial yang masuk ke dalam tubuh dalam jumlah yang berlebihan, maka berubah fungsi menjadi racun. Contoh dari logam berat esensial ini adalah tembaga (Cu), seng (Zn), dan nikel (Ni).²³

Logam berat Pb dan Cd dalam perairan

Keberadaan logam - logam dalam badan perairan dapat berasal dari sumber alamiah dan dari aktifitas manusia. Sumber alamiah masuk ke dalam perairan bisa dari pengikisan batuan mineral. Di samping itu partikel logam yang ada di udara, karena adanya hujan dapat menjadi sumber logam dalam perairan. Adapun logam yang berasal dari aktifitas manusia dapat berupa buangan industri ataupun buangan dari rumah tangga.²³

Kelarutan dari unsur-unsur logam dan logam berat dalam badan perairan dikontrol oleh derajat keasaman air, jenis dan konsentrasi logam dan khelat serta keadaan komponen mineral teroksidasi dan sistem yang berlingkungan redoks.

Logam - logam di perairan akan bereaksi dengan ligand - ligand. Ligand ini biasanya mempunyai konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan konsentrasi logam. Sehingga biasanya terjadi kompetisi diantara ligand - ligand tersebut untuk membentuk senyawa kompleks. Sementara untuk logam - logam seperti Pb (II), Zn (II), Cd (II) dan Hg (II), mempunyai kemampuan untuk membentuk kompleks sendiri. Logam-logam tersebut akan mudah membentuk kompleks dengan ion - ion klorida dan atau sulfat, pada konsentrasi yang sama dengan yang ada di air laut.²³

Keadaan logam di perairan juga dipengaruhi oleh interaksi yang terjadi antara air dengan sedimen. Keadaan ini terutama sekali terjadi pada bagian dasar perairan. Pada dasar sungai ion - ion logam dan kompleksnya yang terlarut dengan cepat akan membentuk partikel - partikel yang lebih besar apabila terjadi kontak dengan partikulat yang melayang - layang dalam badan perairan.

Umumnya logam - logam yang terdapat dalam tanah dan perairan dalam bentuk persenyawaan, seperti senyawa hidroksida, oksida, karbonat dan sulfida.

Senyawa - senyawa ini sangat mudah larut dalam air. Namun pada perairan yang mempunyai derajat keasaman mendekati normal atau pada kisaran pH 7 - 8, kelarutan dari senyawa ini cenderung stabil.

Kenaikan derajat asam pada badan perairan biasanya diikuti dengan semakin kecilnya kelarutan dari senyawa - senyawa logam tersebut. Perubahan tingkat kestabilan dari larutan tersebut biasanya terlihat dalam bentuk pergeseran senyawa. Umumnya pada derajat keasaman yang semakin tinggi, maka kestabilan akan bergeser dari karbonat ke hidroksida. Hidroksida ini mudah sekali membentuk ikatan permukaan dengan partikel yang berada pada badan perairan. Lama - kelamaan persenyawaan yang terjadi antara hidroksida dengan partikel yang berada dalam badan perairan akan mengendap dan membentuk lumpur.²³

D. Risiko Pencemaran dan Toksisitas

Risiko toksisitas berarti besarnya kemungkinan zat kimia untuk menimbulkan keracunan. Hal ini tergantung dari besarnya dosis, konsentrasi, lama dan seringnya pemaparan, juga cara masuk dalam tubuh,^{xxii} serta gejala keracunan antara lain disebabkan oleh adanya pencemaran/polusi.

Pencemaran merupakan keadaan yang berubah menjadi lebih buruk, keadaan yang berubah karena akibat masuknya bahan - bahan pencemar. Bahan pencemar umumnya mempunyai sifat toksik (racun) yang berbahaya bagi organisme hidup. Toksisitas atau daya racun dari polutan itulah yang kemudian menjadi pemicu terjadinya pencemaran.²³

Kegiatan toksisitas antara lain adalah menguji sifat - sifat dari efek negatif yang ditimbulkan oleh bahan kimia/fisika, memperkirakan efek negatif yang mungkin akan timbul karena keberadaan suatu bahan kimia/fisika.

Klasifikasi toksisitas dapat digolongkan menurut :

1. Berdasar durasi waktu timbulnya efek

Toksisitas dapat dikelompokkan menjadi : toksisitas akut sifatnya mendadak, dalam waktu singkat, efeknya *reversibel*, serta toksisitas kronis, durasi waktu lama, konstan serta terus menerus, efeknya permanen atau *irreversibel*.

2. Berdasar tempat bahan kimia (toksikan) tersebut berefek: toksikan lokal (efek terjadi pada tempat aplikasi atau *exposure*, di antara toksikan dan sistem biologis) serta toksisitas sistemik (toksikan diabsorpsi ke dalam tubuh dan di distribusi melalui aliran darah dan mencapai organ di mana akan terjadi efek).

3. Berdasar respons yang terjadi dan organ di mana bahan kimia tersebut mempunyai efek, toksisitas dibedakan : *hepatotoksin*, *nefrotoksin*, *neurotoksin*, *imunotoksin*, *teratogenik karsinogenik* serta *allergen sensitizers* (bahan kimia/fisika yang bisa merangsang timbulnya reaksi alergi), karsinogenik.

Efek dari interaksi kimia (*sinergis*, *potensiasi*, dan *antagonis*) yang memungkinkan timbulnya efek toksik.

1. *Sinergis* apabila dua bahan kimia yang mempunyai sifat toksik yang sama, ketika digabungkan mempunyai efek toksik yang jauh lebih besar dibanding dari hasil perhitungan atau penjumlahan efek dari keduanya.

2. *Potensiasi* apabila zat kimia tidak mempunyai efek toksik sama sekali namun apabila ditambahkan zat kimia yang lain yang mempunyai efek toksik maka akan meningkatkan toksisitas dari zat kimia kedua.
3. *Antagonis* apabila beberapa zat kimia digabungkan akan saling mengurangi efek toksik dari masing - masing zat kimia tersebut.²⁴

Pembangunan di Indonesia diutamakan pada sektor industri. Kemajuan dari sektor industri memberikan efek samping bagi manusia sendiri yaitu timbulnya pencemaran, berupa buangan atau limbah industri yang mengandung gugus logam berat.^{xxiii}

Pencemaran yang ditimbulkan oleh limbah industri yang mengandung logam berat misalnya As, Cd, Pb, dan Hg dapat berakumulasi dalam tanaman misalnya padi, rumput, sayuran, dan jenis tanaman lain yang digunakan makanan ternak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan Cd, Pb, Cu, dan Zn dalam rumput yang tumbuh di daerah sekitar pabrik semen di Kabupaten Bogor, dilaporkan mempunyai kandungan Pb dan Zn yang tinggi pada rumput yang tumbuh dengan jarak satu kilometer dari pabrik semen Bogor.^{xxiv}

Akibat yang ditimbulkan dari pencemaran adalah terganggunya aktivitas kehidupan makhluk hidup, terlebih apabila organisme tersebut tidak mampu mendegradasi bahan pencemar tersebut, sehingga bahan tersebut terakumulasi dalam tubuhnya. Peristiwa tersebut akan mengakibatkan terjadinya *biomagnifikasi* dari organisme satu ke organisme yang lain yang mempunyai tingkatan yang lebih tinggi.²⁴

Risiko apabila mengkonsumsi pakan mengandung bahan toksik setiap harinya adalah akumulasi bahan toksik tersebut sehingga konsentrasi dalam tubuh hewan lebih tinggi dari pada konsentrasi yang terkandung dalam pakan yang dikonsumsi. Bila seekor hewan mengandung bahan toksik dikonsumsi hewan lainnya maka hewan kedua memiliki konsentrasi bahan toksik lebih tinggi dari hewan pertama, demikian juga hewan ketiga yang memakan hewan kedua, rangkaian proses tersebut disebut "*food chain*".²⁴

Bahan toksik yang terkandung dalam sampah kemungkinan berupa logam berat. Logam berat yang sering menimbulkan kasus keracunan pada ruminansia (misalnya sapi) adalah tembaga (Cu), timbal (Pb), dan merkuri (Hg).²⁷

E. Timbal (Pb)

Timbal mempunyai berat atom 207,21; berat jenis 11,34; bersifat lunak serta berwarna biru atau silver abu - abu dengan kilau logam, nomor atom 82 mempunyai titik leleh 327,4°C dan titik didih 1.620°C.²³

Timbal termasuk logam berat "*trace metals*" karena mempunyai berat jenis lebih dari lima kali berat jenis air.²⁴ Bentuk kimia senyawa Pb yang masuk ke dalam tubuh melalui makanan akan mengendap pada jaringan tubuh, dan sisanya akan terbuang bersama bahan sisa metabolisme.

Timbal adalah sebuah unsur yang biasanya ditemukan di dalam batu - batuan, tanah, tumbuhan dan hewan. Timbal 95% bersifat anorganik dan pada umumnya dalam bentuk garam anorganik yang umumnya kurang larut dalam air. Selebihnya berbentuk timbal organik. Timbal organik ditemukan dalam bentuk senyawa *Tetra Ethyl Lead* (TEL) dan *Tetra Methyl Lead* (TML). Jenis senyawa ini hampir tidak larut

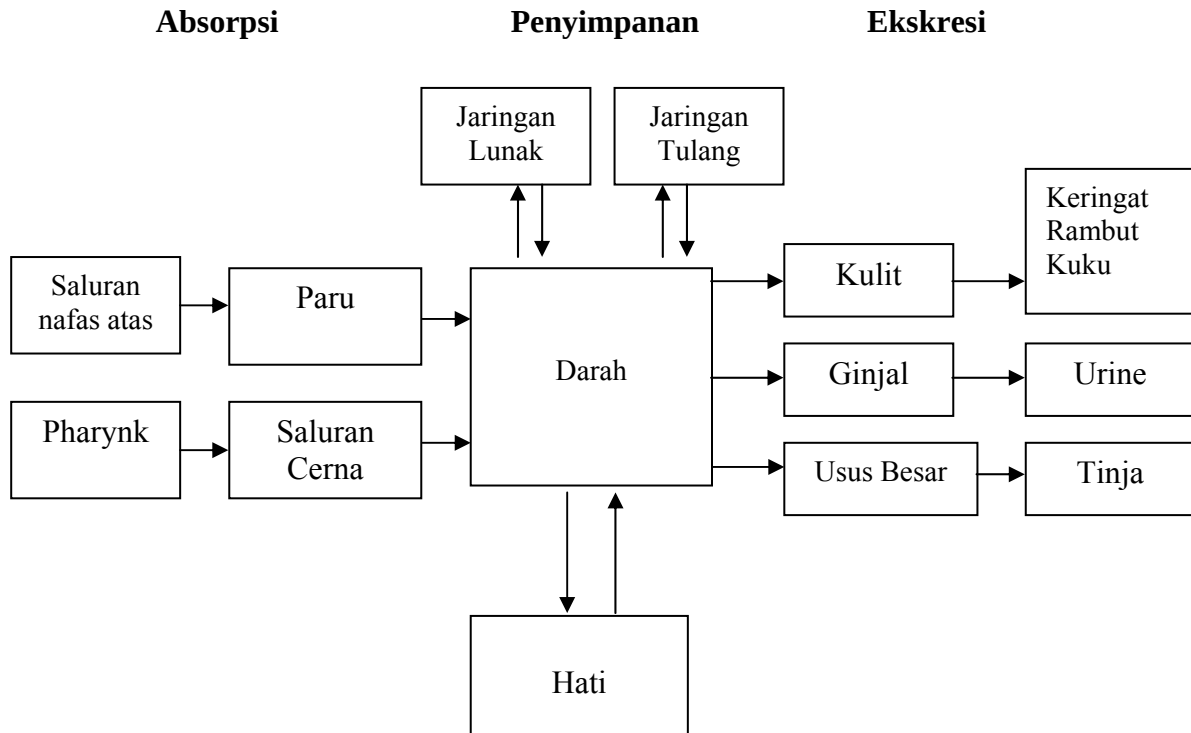
dalam air, namun dapat dengan mudah larut dalam pelarut organik misalnya dalam lipid. Waktu keberadaan timbal dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti arus angin dan curah hujan. Timbal tidak mengalami penguapan namun dapat ditemukan di udara sebagai partikel. Karena timbal merupakan sebuah unsur maka tidak mengalami degradasi (penguraian) dan tidak dapat dihancurkan.^{xxv}

Timbal banyak dimanfaatkan oleh kehidupan manusia seperti sebagai bahan pembuat baterai, amunisi, produk logam (logam lembaran, solder, dan pipa), perlengkapan medis (penangkal radiasi dan alat bedah), cat, keramik, peralatan kegiatan ilmiah/praktek (papan sirkuit/CB untuk komputer) untuk campuran minyak bahan - bahan untuk meningkatkan nilai oktan.

Konsentrasi timbal di lingkungan tergantung pada tingkat aktivitas manusia, misalnya di daerah industri, di jalan raya, dan tempat pembuangan sampah. Karena timbal banyak ditemukan di berbagai lingkungan maka timbal dapat memasuki tubuh melalui udara, air minum, makanan yang dimakan dan tanah pertanian.

F. Proses masuknya Timbal (Pb) dalam tubuh manusia

Jalur masuknya timbal ke dalam tubuh manusia melalui saluran pernapasan (respirasi), juga melalui saluran pencernaan (gastrointestinal), kemudian didistribusikan ke dalam darah, dan terikat pada sel darah. Sebagian Pb disimpan dalam jaringan lunak dan tulang, sebagian diekskresikan lewat kulit, ginjal dan usus besar, skematis dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 2.1. Skema Metabolisme Pb dalam Tubuh Manusia
(Hemberg S dalam Zens C, 1994, dengan modifikasi)

Timbal bersirkulasi dalam darah setelah diabsorpsi dari usus, terutama berhubungan dengan sel darah merah (eritrosit). Pertama didistribusikan ke dalam jaringan lunak dan berinkorporasi dalam tulang, gigi dan rambut untuk dideposit (*storage*). Timbal 90% dideposit dalam tulang dan sebagian kecil tersimpan dalam otak, pada tulang timbal dalam bentuk Pb fosfat ($Pb_3(PO_4)$). Secara teori selama timbal terikat dalam tulang tidak akan menyebabkan gejala sakit pada penderita. Tetapi yang berbahaya adalah toksisitas Pb yang diakibatkan gangguan absorpsi Ca karena terjadi desorpsi Ca dari tulang yang menyebabkan penarikan deposit timbal dari tulang tersebut.²⁴

G. Risiko Timbal (Pb) Pada Organ Tubuh

Timbal merupakan suatu logam toksik yang bersifat kumulatif, toksisitasnya dibedakan menurut organ yang dipengaruhi antara lain yaitu :

1. Risiko Timbal (Pb) pada system hemopoietik

Timbal mempengaruhi system darah dengan :

- a. Memperlambat pematangan normal sel darah merah (eritrosit) dalam sumsum tulang yang menyebabkan terjadinya anemia.
- b. Mempengaruhi kelangsungan hidup sel darah merah. Eritrosit yang diberi perlakuan dengan timbal, memperlihatkan peningkatan tekanan osmosis dan kelemahan pergerakan. Selain itu memperlihatkan penghambatan $\text{Na} - \text{K} - \text{ATP}$ ase yang meningkatkan kehilangan Kalium intraseluler. Hal ini membuktikan bahwa kejadian anemia karena keracunan timbal disertai dengan penyusutan waktu hidup eritrosit.
- c. Menghambat biosintesis haemoglobin dengan cara menghambat aktivitas enzim delta - ALAD dan enzim ferroketalase.²⁸

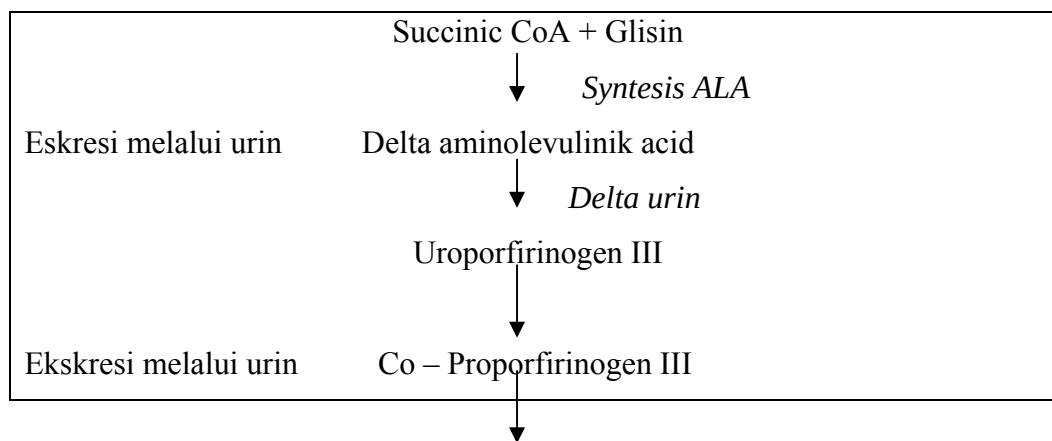
Proses kehidupan organisme merupakan rangkaian proses fisiologis, maka dibutuhkan enzim - enzim untuk kelancaran rangkaian - rangkaian reaksi yang dibentuknya. Enzim adalah katalisator protein (zat yang mempercepat reaksi biokimia dalam sistem biologis). Pada umumnya semua reaksi biokimia dikatalisasi oleh enzim. Sifat enzim yang paling bermakna adalah kesanggupannya untuk mengkatalisis suatu reaksi spesifik, dan pada hakekatnya tidak mengkatalisis reaksi lain.

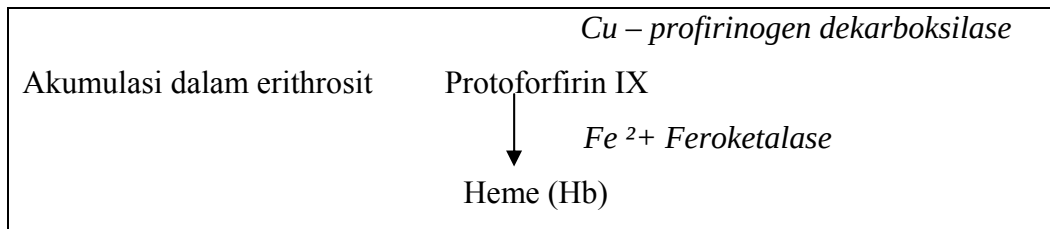
Keberadaan suatu zat racun dapat mempengaruhi aktifitas enzim fisiologis tubuh. Logam berat mempunyai kemampuan untuk berikatan dengan enzim. Ikatan itu

dapat terjadi karena logam berat mempunyai kemampuan untuk menggantikan gugus logam yang berfungsi sebagai ko - faktor enzim.

Enzim - enzim tertentu memiliki gugus sulfidril (- SH) sebagai pusat aktifnya. Enzim - enzim yang mempunyai gugus sulfidril ini merupakan kelompok enzim yang paling mudah terhalang daya kerjanya. Keadaan ini disebabkan gugus sulfidril dengan mudah berikatan dengan ion logam berat, daya kerja yang dimiliki oleh enzim menjadi sangat berkurang atau sama sekali tidak bekerja.²³

Timbal mengganggu sistem sintesis Hb dengan cara menghambat konversi delta aminolevulinik acid (delta ALAD) menjadi forfobilinogen dan menghambat korporasi dari Fe ke protoporfirin IX untuk membentuk Hb, dengan cara menghambat enzim delta aminolevulinik acid dehidratase (delta ALAD) dan feroketalase yang akhirnya meningkatkan ekskresi koproporfirin dalam urin dan delta ALA serta mensintesis Hb. Pembentukan senyawa porfirin seperti pada skema di bawah ini :





Gambar 2.2. Proses penghambatan produksi haemoglobin karena timbal (Pb)
(Darmono, 2001)

Kompensasi penurunan sintesis Hb karena terhambat timbal adalah peningkatan produksi *erithrofoesis*. Sel darah merah muda (*retikulosit*) dan sel stipel kemudian dibebaskan. Ditemukannya sel stipel basofil (*basophilic stippling*) merupakan gejala dari adanya gangguan metabolik dari pembentukan Hb. Hal ini terjadi karena adanya tanda - tanda keracunan Pb. Sel darah merah gagal untuk menjadi dewasa dan sel tersebut menyisakan organel yang biasanya menghilang pada proses kedewasaan sel, akhirnya *poliribosoma ireguler* pada agregat RNA membentuk sel stipel.²⁷

2. Risiko Keracunan Timbal (Pb) Pada Sistem Syaraf

Sistem syaraf merupakan sistem yang paling sensitif terhadap daya racun. Risiko dari keracunan timbal dapat menimbulkan kerusakan pada otak. Penyakit - penyakit yang berhubungan dengan otak sebagai akibat dari keracunan timbal adalah epilepsi, halusinasi, kerusakan pada otak besar dan delirium yaitu sejenis penyakit gula.²⁶

Sistem syaraf yang kena pengaruh timbal dengan konsentrasi timbal dalam darah di atas 80 µg/100 ml, dapat terjadi enselopati. Hal ini dapat dilihat melalui gejala seperti gangguan mental yang parah, kebutaan dan epilepsi dengan atrofi kortikal atau dapat secara tidak langsung berkurangnya persepsi sensorik sehingga menyebabkan kurangnya kemampuan belajar, penurunan intelegensia (IQ), atau mengalami gangguan perilaku seperti sifat agresif, destruktif, serta ketidakstabilan emosi dan iritabilitas yang sangat tinggi.

Kerusakan syaraf motorik menyebabkan kelumpuhan syaraf lanjutan dikenal dengan *lead palsy*. Keracunan kandungan timbal dapat merusak syaraf mata pada anak - anak dan berakhir pada kebutaan. *Centers for Disease Controll* (CDC) menyatakan bahwa kandungan timbal dalam darah 70 µg/100 ml merupakan batas darurat medis akut pada pasien anak.^{xxvi}

3. Risiko Keracunan Timbal (Pb) Pada Sistem Ginjal

Senyawa timbal yang terlarut dalam darah dibawa ke seluruh sistem tubuh. Sirkulasi darah masuk ke glomerulus merupakan bagian dari ginjal. Glomerulus merupakan tempat proses pemisahan akhir dari semua bahan yang dibawa darah. Timbal yang terlarut dalam darah akan berpindah ke sistem urinaria (ginjal) sehingga dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada ginjal. Kerusakan terjadi karena terbentuknya *intranuclear inclusion bodies* disertai dengan gejala *aminociduria*, yaitu terjadinya kelebihan asam amino dalam urine.²⁶ *Nephropathy* (kerusakan nefron pada ginjal) dapat dideteksi dari ketidakseimbangannya fungsi renal dan sering diikuti hipertensi.²⁹

4. Risiko Keracunan Timbal (Pb) Pada Sistem Gastrointestinal

Gejala awal muncul pada konsentrasi timbal dalam darah sekitar 80 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$, gejala - gejala tersebut meliputi kurangnya nafsu makan, gangguan pencernaan, gangguan *epigastrik* setelah makan, sembelit dan diare.

Jika kadar timbal dalam darah melebihi 100 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$, maka kecenderungan untuk munculnya gejala lebih parah lagi yaitu bagian perut kolik terus menerus dan sembelit yang lebih parah. Jika gejala ini tidak segera ditangani, maka akan muncul kolik yang lebih spesifik. Konsentrasi timbal dalam darah di atas 150 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ penderita menderita nyeri dan melakukan reaksi kaki ditarik - tarik ke arah perut secara terus menerus dan menggeretakkan gigi, diikuti keluarnya keringat pada kening. Jika tidak dilakukan penanganan lebih lanjut maka kolik dapat terjadi selama beberapa hari, bahkan hingga satu minggu.²⁹

5. Risiko Keracunan Timbal (Pb) Pada Sistem Kardiovaskular

Tahap akut keracunan timbal khususnya pada pasien yang menderita kolik, tekanan darah akan naik. Jika terjadi hal demikian, maka pasien tersebut akan mengalami hipotonia. Kemungkinan kerusakan miokardial harus diperhatikan. Suatu penelitian menyebutkan bahwa jenis kelainan perubahan elektrokardiografis pada 70% dari total pasien yang ditangani. Temuan utama dari penelitian adalah *takhikardia*, *atrial disritmia*, gelombang T dan atau sudut QRS - T yang melebar secara tidak normal.²⁹

6. Risiko Keracunan Timbal (Pb) Pada Sistem Reproduksi Dan Endokrin

Efek reproduktif meliputi berkurangnya tingkat kesuburan bagi wanita maupun pria yang terkontaminasi timbal, logam tersebut juga dapat melewati placenta sehingga dapat menyebabkan kelainan pada janin berupa cacat pada bayi dan menimbulkan berat badan lahir rendah serta prematur. Timbal juga dapat menyebabkan kelainan pada fungsi tiroid dengan mencegah masuknya iodine.²⁹

7. Risiko Karsinogenik

International Agency for Reseach on Center (IARC) menyatakan bahwa timbal anorganik dan senyawanya termasuk dalam grup 2B, kemungkinan menyebabkan kanker pada manusia. Tahap awal proses terjadinya kanker adanya kerusakan DNA yang menyebabkan peningkatan lesi genetik hereditas yang menetap atau disebut mutasi. Timbal diperkirakan mempunyai sifat toksik pada gen sehingga dapat mempengaruhi terjadinya kerusakan DNA/mutasi gen dalam kultur sel mamalia. Patogenesis kanker otak akibat terpapar timbal adalah sebagai berikut: timbal masuk ke dalam darah melalui makanan dan akan tersimpan dalam organ tubuh yang mengakibatkan gangguan sintesis DNA, proliferasi sel yang membentuk nodul selanjutnya berkembang menjadi tumor ganas.^{xxvii}

8. Diagnosis Keracunan Timbal (Pb)

Pemeriksaan laboratorium untuk menentukan diagnosis pasti dari toksisitas timbal: tes darah terhadap kadar timbal dan *protoporfirin* serta tes urin

terhadap kadar timbal dan *koproporfirin* dapat menunjukkan indikasi adanya keracunan. Bukti lain yang banyak dikenal dari kontaminasi timbal adalah garis - garis berwarna kebiruan pada bagian pangkal gigi. Garis - garis tersebut dikenal dengan nama garis Burtoni, garis tersebut tersusun dari sulfida timbal. Sejumlah eksperimen pada hewan menunjukkan pengaruh karsinogenik.²⁹

H. Kadmium (Cd)

Kadmium adalah suatu logam putih, mudah dibentuk, lunak dengan warna kebiruan. Titik didih relatif rendah (767°C) membuatnya mudah terbakar, membentuk asap kadmium oksida. Kadmium dan bentuk garamnya banyak digunakan pada beberapa jenis pabrik untuk proses produksinya. Industri pelapisan logam adalah pabrik yang paling banyak menggunakan kadmium murni sebagai pelapis, begitu juga pabrik yang membuat Ni - Cd baterai. Bentuk garam Cd banyak digunakan dalam proses fotografi, gelas, dan campuran perak, produksi *foto - elektrik*, *foto - konduktor*, dan *fosforus*. Kadmium asetat banyak digunakan pada proses industri porselen dan keramik. Keberadaan kadmium di alam berhubungan erat dengan hadirnya logam Pb dan Zn. Dalam industri pertambangan Pb dan Zn, proses pemurniannya akan selalu memperoleh hasil samping kadmium yang terbuang dalam lingkungan. Kadmium masuk ke dalam tubuh manusia terjadi melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi. Untuk mengukur kadmium intake ke dalam tubuh manusia perlu dilakukan pengukuran kadar Cd dalam makanan yang dimakan atau kandungan Cd dalam faeces.²⁰

Tabel 2.1. Intake Cd per Hari pada Pria di Amerika berdasarkan kandungan Cd dalam makanan dan dalam faeces.

Sampel	Umur orang/th	Lokasi	Kadar Cd
Makanan	15-18	-	26-61($\mu\text{g/hr}$)
Faeses	10-59	Texas	13-19($\mu\text{g/hr}$)
	10-59	Chicago	15-18($\mu\text{g/hr}$)
Sereal	-	-	23%*
Buah	-	-	18%
Sayuran daun	-	-	6%
Kentang	-	-	18%
Sayuran akar	-	-	1,5%
Legume	-	-	0,8%

* persentase dari intake Cd per hari

Sumber : Fox (1983)

I. Mekanisme Toksisitas Cd

Sekitar 5% dari diet kadmium, diabsorpsi dalam tubuh. Sebagian besar Cd masuk melalui saluran pencernaan, tetapi keluar lagi melalui faeses sekitar 3 - 4 minggu kemudian dan sebagian kecil dikeluarkan melalui urin. Kadmium dalam tubuh terakumulasi dalam hati dan ginjal terutama terikat sebagai metalotionein. Metalotionein mengandung unsur sistein, di mana Cd terikat dalam gugus sulfhidril (-SH) dalam enzim seperti *karboksil sisteinil*, *histidil*, *hidroksil*, dan *fosfatil* dari protein dan purin. Kemungkinan besar pengaruh toksisitas Cd disebabkan oleh interaksi antara Cd dan protein tersebut, sehingga menimbulkan hambatan terhadap aktivitas kerja enzim dalam tubuh.¹⁶

Plasma enzim yang diketahui dihambat Cd adalah aktivitas dari enzim *alfa - antitripsin*. Terjadinya defisiensi enzim ini dapat menyebabkan *emfisema* dari paru dan hal ini merupakan salah satu gejala gangguan paru karena toksisitas Cd.

J. Gejala Toksisitas Kadmium (Cd)

Berbagai organ tubuh dapat terpengaruh setelah paparan jangka panjang terhadap kadmium. Organ yang kritis (tempat gangguan fungsional dini) adalah ginjal. Kadmium lebih beracun apabila terhisap melalui saluran pernafasan daripada melalui saluran pencernaan. Kasus keracunan akut kadmium kebanyakan dari mengisap debu dan asap kadmium, terutama kadmium oksida (CdO). Beberapa jam setelah mengisap, korban akan mengeluh gangguan saluran pernafasan, muntah, kepala pusing dan sakit pinggang. Kematian disebabkan karena terjadinya oedema paru - paru. Apabila pasien tetap bertahan hidup, akan terjadi emfisema atau gangguan paru - paru dapat jelas terlihat.²²

Keracunan kronis terjadi bila inhalasi Cd dosis kecil dalam waktu lama dan gejalanya juga berjalan kronis. Kadmium dapat menyebabkan nefrotoksisitas (toksis ginjal) yaitu gejala proteinuria, glikosuria dan aminoasiduria disertai dengan penurunan laju filtrasi glomerulus ginjal. Kasus keracunan Cd kronis juga menyebabkan gangguan kardiovaskular dan hipertensi. Hal tersebut terjadi karena tingginya afinitas jaringan ginjal terhadap kadmium. Gejala hipertensi ini tidak selalu dijumpai pada kasus keracunan kronis Cd. Selain itu, kadmium dapat menyebabkan terjadinya gejala *osteomalasea* karena terjadi interferensi daya keseimbangan kandungan kalsium dan fosfat dalam ginjal. Keracunan kronis Cd ini dilaporkan di daerah Toyama, sepanjang Sungai Jinzu di Jepang, yang menyebabkan penyakit itai - itai pada penduduk wanita berumur 40 tahun atau lebih.

K. Interaksi Cd dengan Unsur Nutrisi Lain

Beberapa unsur nutrisi yang berpengaruh terhadap hadirnya Cd dalam tubuh adalah seng, besi, tembaga, kalsium, piridoksin, asam kaskorbat, dan protein, yang interaksinya bersifat antagonisme. Kebanyakan toksisitas Cd terjadi karena adanya defisiensi unsur tersebut di atas yang mengakibatkan meningkatnya absorpsi Cd. Pada umumnya rendahnya intake unsur nutrisi esensial mengakibatkan bertambah parahnya toksisitas Cd, sedangkan intake yang tinggi dari unsur nutrisi esensial mengakibatkan berkurangnya efek toksisitas Cd.²⁰

Beberapa penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa ada hubungannya antara absorpsi Cd dengan cadangan Fe dalam tubuh. Percobaan pada orang (pria dan wanita sukarelawan) yang diberi sarapan pagi mengandung 25 µg Cd dalam bentuk CdCl₂, menunjukkan bahwa 8,9% orang terlihat gejala adanya deposit Fe yang rendah, yang pada analisis serum feritin ditemukan kurang dari normal (< 20 µg/ml).⁴

L. Analisis Spasial

Spasial berasal dari kata *space* (ruang). Spasial mempunyai arti sesuatu yang dibatasi oleh ruang, komunikasi dan atau transportasi, data spasial menunjukkan posisi, ukuran dan kemungkinan hubungan topologis (bentuk dan tata letak) dari obyek di muka bumi.^{xxviii}

Analisis spasial sebagian dari manajemen penyakit berbasis wilayah dan lingkungan, merupakan suatu analisis dan uraian tentang data penyakit secara geografi berbasis dengan kependudukan, faktor - faktor lingkungan, perilaku, sosial ekonomi, kasus kejadian penyakit, dan hubungan antar variabel tersebut.^{xxix}

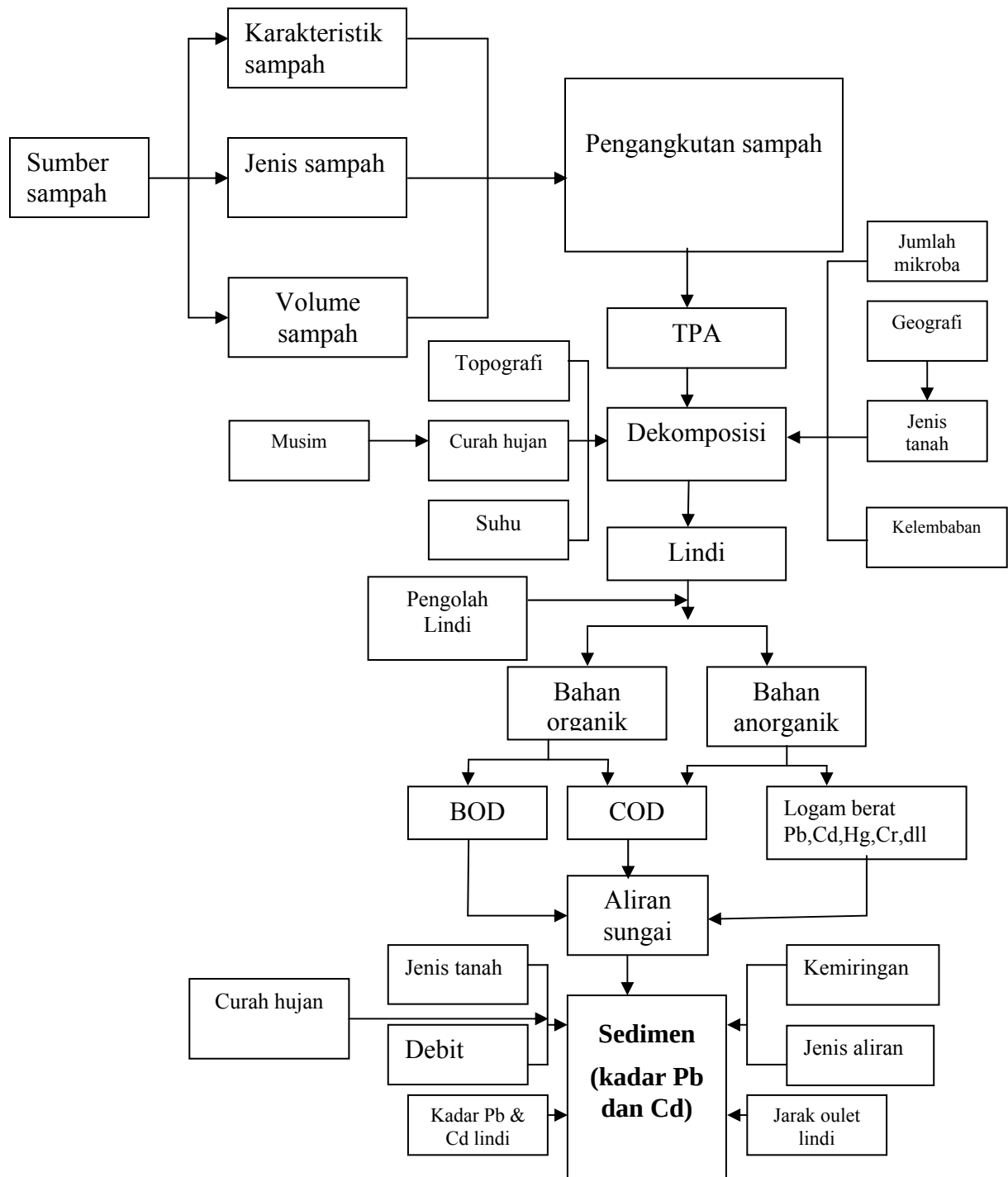
Analisis spasial pencemaran logam berat Pb dan Cd dalam sedimen air Sungai Kreo bertujuan untuk mengukur kadar Pb dan Cd dalam sedimen air Sungai Kreo dan mengetahui faktor - faktor apa yang berhubungan dengan fluktuasi kadar Pb dan Cd dalam sedimen aliran Sungai Kreo. Analisis spasial memperhatikan kadar Pb dan Cd pada sedimen air sungai Kreo pada waktu tertentu dengan memperhatikan musim, jenis tanah, topografi, geografi, curah hujan, debit air, jarak TPA dengan Sungai Kreo dan pengaruh aliran Sungai Kreo.

Ada empat tingkatan dalam menggambar data spasial yaitu :

1. Kenyataan (*reality*) adalah gejala sebagaimana yang kita lihat.
2. Model data adalah bentuk penggambaran kejadian sehari - hari yang dialami oleh manusia.
3. Struktur data (*logical model*) menunjukkan model data penggambaran kejadian tertentu, biasanya dalam bentuk diagram.
4. File struktur (*physical model*) adalah bentuk data dalam penyimpanan hardware.

Cara berpikir logis secara bertahap dalam menyusun data spasial, maka pengolahan data spasial akan menjadi sebuah informasi yang teratur dan terarah.^{xxx}

M. Kerangka Teori :

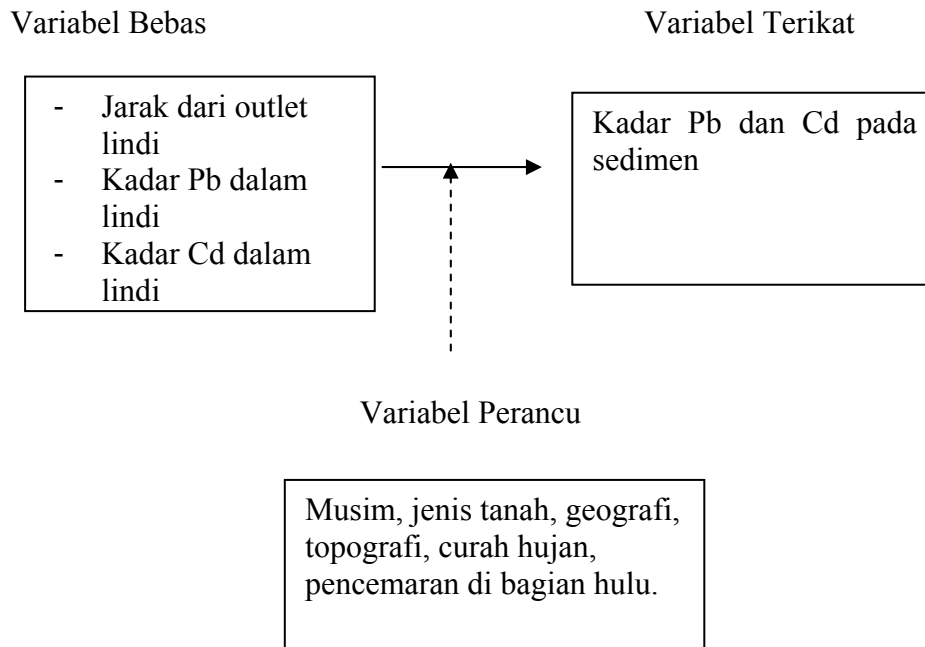


Gambar 2.3. Kerangka Teori Analisis Spasial Pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sedimen aliran sungai dari TPA Jatibarang Semarang^{3), 6), 7), 8), 9), 10), 11), 12), 13), 14), 22), 23), 26)}

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Kerangka Konsep



Gambar 3.1 Kerangka Konsep

B. Hipotesis Penelitian

Hipotesis yang akan dibuktikan kebenarannya dalam penelitian ini adalah :

1. Ada beda antara kadar timbal (Pb) pada lindi dengan kadar timbal (Pb) pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang Semarang.
2. Ada beda antara kadar kadmium (Cd) pada lindi dengan kadar timbal (Cd) pada sedimen aliran Sungai Kreo dari TPA Jatibarang Semarang.
3. Ada hubungan antara jarak outlet lindi TPA Jatibarang dengan kadar timbal (Pb) pada sedimen aliran sungai.
4. Ada hubungan antara jarak outlet lindi TPA Jatibarang dengan kadar cadmium (Cd) pada sedimen aliran sungai.

C. Variabel Penelitian

Variabel adalah karakteristik yang dapat diukur baik secara numerik, maupun katagorik pada umumnya, untuk mengukur ada tidaknya beda antara kelompok variabel yang disebut bebas, terikat, dan perancu/pengganggu. Pada penelitian ini masing – masing variabel dikelompokkan sebagai berikut:

1. Variabel Bebas : Jarak dari outlet lindi, kadar Pb dalam lindi, kadar Cd dalam lindi.
2. Variabel Terikat : Kadar Pb dan Cd pada sedimen aliran sungai.
3. Variabel Perancu/pengganggu : Musim, jenis tanah, topografi, geografi, curah hujan, pencemaran di bagian hulu.

D. Definisi Operasional

Tabel 3.1 Definisi Operasional

No	Variabel	Definisi Operasional	Skala
1	2	3	4
1.	Kadar Pb dalam lindi	Kandungan timbal yang diambil pada lindi dan diukur dengan AAS, hasil dinyatakan dalam mg/lt.	Rasio
2.	Kadar Cd dalam lindi	Kandungan kadmium yang diambil pada lindi dan diukur dengan AAS, hasil dinyatakan dalam mg/lt.	Rasio
3.	Kadar Pb dalam sedimen aliran sungai	Kandungan timbal yang diambil pada sedimen aliran air sungai dan diukur dengan AAS, hasil dinyatakan dalam mg/kg.	Rasio
4.	Kadar Cd dalam sedimen aliran sungai	Kandungan kadmium yang diambil pada sedimen aliran air sungai dan diukur dengan AAS, hasil dinyatakan dalam mg/kg.	Rasio
5.	Jenis aliran	Jenis aliran air turbulen dan laminar yang diamati secara visual.	Nominal
6.	Debit air	Jumlah volume air per satuan waktu, hasil dinyatakan dalam m ³ /detik.	Rasio
7.	Kemiringan air sungai	Perbedaan elevasi tinggi air dibagi dengan jarak, hasil dinyatakan dalam persen (%)	Rasio

E. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian *observasional*, dengan disain studi potong lintang (*cross sectional*). Dalam penelitian ini tidak dilakukan intervensi terhadap alam. Penelitian potong lintang, peneliti mencari beda antara variabel bebas dengan variabel terikat dengan pengukuran sesaat, tidak semua obyek harus diperiksa pada saat yang bersamaan. Variabel bebas dan variabel terikat diukur sesuai keadaan pada saat observasi dan tidak dilakukan upaya tindak lanjut.

F. Subyek Penelitian

Subyek dalam penelitian ini adalah lindi TPA Jatibarang, air Sungai Kreo, dan sedimen Sungai Kreo.

G. Sampel Penelitian

Rencana pengambilan sampel dilakukan untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian. Pengambilan sampel sedimen akan dilakukan pada 10 titik di sepanjang sungai Kreo. Titik 1 pada jarak 150 m sebelum pembuangan lindi (bagian hulu). Untuk titik ke - 2 berjarak 10 meter dari outlet lindi, sedang titik ke - 3 sampai titik ke - 10 dengan interval jarak kurang lebih 50 meter, setelah pembuangan lindi. Pengambilan setiap titik dilakukan satu kali, pada 3 bagian yaitu bagian pinggir kanan, bagian tengah dan bagian pinggir kiri (sampel sesaat/*grab sample*).

Langkah - langkah yang dilakukan dalam persiapan pengambilan sampel adalah sebagai berikut:

1. Pemetaan lokasi sampling
2. Pemilihan jenis dan volume wadah sampel yang sesuai.
3. Pemilihan alat pengambil sampel yang sesuai.
4. Pencucian wadah, alat pengambil sampel sehingga bebas dari kontaminasi.
5. Persiapan peralatan pendukung, seperti : kotak pendingin, pengawet.

Pengambilan sampel sedimen dilakukan dengan menggunakan pralon PVC. Untuk menjaga keaslian/kualitas sampel sedimen disimpan dalam botol bermulut besar dan didinginkan pada kotak pendingin (*cool box*).

Pengolahan sampel dilakukan dengan detruksi basah asam nitrat. Campur sampai homogen sedimen. Ditimbang dengan teliti 1 gram dan dimasukkan ke dalam tabung detruksi. Ditambahkan sedikit aquades sampai menggenangi sampel. Ditambah HNO_3 pekat 5 ml, panaskan dalam hot plate secara terus menerus, bila perlu ditambahkan HNO_3 pekat sampai didapatkan hasil detruksi jernih. Pada saat detruksi sampel dijaga jangan sampai kering. Lakukan juga detruksi untuk blanko.

Pindahkan larutan hasil detruksi ke dalam labu ukur 100 ml. Cuci tabung detruksi dengan air bebas logam dan masukkan ke dalam labu ukur. Dinginkan, tambahkan aquades sampai tanda dan campur hingga homogen. Saring dan larutan siap dianalisa dengan AAS.^{xxxi}

H. Cara Pengumpulan Data

1. Jenis Data

a. Data primer adalah data yang dikumpulkan dengan cara pemeriksaan langsung baik pemeriksaan kadar Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo, lindi maupun air Sungai Kreo.

b. Data sekunder

Meliputi : data monografi TPA Jatibarang Semarang meliputi letak geografi, topografi, iklim serta musim.

2. Instrumen Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan oleh peneliti dengan pemeriksaan terhadap kadar Pb dan Cd. Pemeriksaan kadar Pb dan Cd menggunakan alat AAS. Penentuan posisi

titik sampling dengan GPS (*Global Positioning System*), theodolith untuk mengukur kemiringan lahan, meteran untuk mengukur jarak antar titik sampling, stopwatch untuk mengukur kecepatan air, serta barometer untuk mengukur tinggi lokasi.

I. Pengolahan dan Analisis Data

1. Pengolahan Data

Pengolahan data dengan langkah - langkah sebagai berikut:

a. Editing

Yaitu memeriksa data yang terkumpul tentang hasil pengukuran/pemeriksaan yang telah dilakukan yaitu hasil pemeriksaan kadar Pb dan Cd.

b. Koding

Yaitu pemberian kode - kode tertentu untuk memudahkan dalam tahap pengolahan data yaitu dengan cara memberikan kode angka.

c. Entry Data

Memasukkan data yang telah *diedit* dan *dicoding* dengan menggunakan fasilitas komputer.

d. Tabulasi Data

Yaitu mengelompokkan data ke dalam tabel yang dibuat sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian.

2. Analisis Data

Analisis data yang diperoleh dari hasil penelitian untuk mengetahui beda kadar Pb pada lindi dan kadar Pb pada sedimen aliran sungai serta beda kadar Cd pada lindi dan kadar Cd pada sedimen aliran sungai menggunakan Uji T - Test. Sedangkan analisis data yang diperoleh dari hasil penelitian menggunakan Uji Regresi untuk mengetahui hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat, di mana sifat hubungan tersebut kausal atau fungsional. Untuk menentukan kedua variabel mempunyai hubungan kausal atau tidak, maka harus didasarkan pada teori atau konsep - konsep tentang dua variabel tersebut. Penggunaan analisis regresi bila ingin mengetahui bagaimana variabel terikat dapat diprediksi melalui variabel bebas, secara individu. Dampak dari penggunaan analisis regresi dapat digunakan untuk memutuskan apakah naik dan turunnya variabel terikat dapat dilakukan melalui menaikkan dan menurunkan keadaan variabel bebas, atau untuk meningkatkan keadaan variabel terikat dapat dilakukan dengan meningkatkan variabel bebas dan sebaliknya. Uji regresi yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah regresi linier sederhana. Regresi sederhana didasarkan pada hubungan fungsional ataupun kausal satu variabel bebas dan satu variabel terikat.

Persamaan umum regresi linier sederhana adalah.^{xxxii}

$$Y' = a + bX$$

Dimana :

Y' = subyek dalam variabel terikat yang diprediksi.

a = harga Y bila $X = 0$ (harga konstan).

b = angka arah atau koefisien regresi yang menunjukkan angka peningkatan maupun penurunan variabel terikat yang didasarkan pada variabel bebas.

Bila b (+) maka naik, dan bila b (-) maka terjadi penurunan.

X = subyek pada variabel bebas yang mempunyai nilai tertentu.

$$(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)$$

Harga a = -----

$$n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2$$

$$n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)$$

Harga b = -----

$$n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2$$

Dari nilai variabel bebas dan terikat dapat dihitung nilai korelasinya. Korelasi dapat dihitung dengan rumus :

$$n \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)$$

r = -----

$$\sqrt{(n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2)(n \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2)}$$

Kemudian dari harga r tersebut dibandingkan dengan nilai r tabel dengan taraf kesalahan 5 % dengan jumlah sampel (n) = 30. Dari besarnya nilai r dapat diketahui sifat hubungan positif (+) atau negative (-) dan nilai signifikansinya. Selanjutnya dihitung berapa nilai determinasi (r²). Nilai determinasi dipergunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat.³⁴

Analisa Data meliputi :

a. Analisis Univariat

Analisa Univariat disajikan dengan mendiskripsikan semua variabel sebagai bahan informasi dengan menggunakan tabel distribusi frekuensi.

b. Analisis Bivariat

Analisis Bivariat dilakukan dengan membuat tabel silang (*contingency*) antara variabel terikat dan variabel bebas. Uji statistik yang digunakan adalah uji t - test dan uji regresi linier sederhana.

c. Analisis Spasial

Analisis spasial dilakukan untuk melihat karakteristik wilayah yang meliputi jarak, jenis aliran, kemiringan aliran sungai dan debit air dengan kadar Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo.

Pada analisis spasial dilakukan dengan metode *overlay* atau tumpang susun.

Secara umum, pemrosesan data bisa dibagi menjadi tiga tahapan:

1. Persiapan data : dilakukan untuk mempersiapkan setiap data sebelum proses *overlay*. Pada tahapan ini dilakukan persiapan data sebelum melakukan analisis *overlay*. Biasanya data yang diperoleh dari lapangan berupa beberapa titik sampel. Sedangkan untuk *overlay* diperlukan data dalam format vektor *polygon*. Oleh karena itu perlu dilakukan beberapa konversi dan editing data seperti interpolasi, reklasifikasi, konversi *grid* ke vektor *polygon* dan mengedit *field*.

Untuk menganalisis secara spasial penyebaran logam berat pada sedimen aliran Sungai Kreo diperlukan data yang berhubungan dengan topografi dan wilayah tersebut yaitu 5 jenis data sebagai berikut:

- a. Jarak dari outlet lindi (meter).

- b. Jenis aliran.
- c. Kemiringan aliran sungai (%).
- d. Kadar Pb dan Cd (mg/kg).
- e. Debit (m³/detik).

Kelima data tersebut dikumpulkan dari survey lapangan pada beberapa lokasi pengukuran di Sungai Kreo. Untuk koordinat lokasi pengukuran bisa diperoleh dari pengukuran menggunakan GPS (*Global Positioning System*). Data tersebut disimpan dalam format vektor dengan tipe *point* (titik).

2. *Overlay* : proses analisis *multilayer* untuk mendapatkan tingkat kesesuaian dari setiap data. Tahapan berikutnya yang penting adalah proses *overlay*. *Overlay* adalah proses menumpukkan 2 atau lebih data pada cakupan lokasi yang sama agar diketahui kondisi beberapa parameter pada lokasi tersebut. Pada kesesuaian zonasi, *overlay* memiliki peran yang penting untuk mempertimbangkan kelayakan suatu wilayah untuk tujuan tertentu. Hasil *overlay* merupakan gabungan data spasial dan atribut dari suatu wilayah. Jadi tidak hanya batas *polygon* tetapi juga atribut yang ada dalam *polygon* tersebut. Proses *overlay* biasanya hanya bisa menggunakan *input* dari dua *layer*. Apabila digunakan banyak *layer*, *overlay* dilakukan satu per satu pada *layer* tersebut. Sebagai rumusan apabila 1 *layer* diperlukan *overlay* sebanyak k kali yaitu $k = 1 - 1$.
3. *Matching & Scoring* : merupakan proses akhir untuk menentukan tingkat kesesuaian berdasarkan data yang tersedia. Setelah semua data dioverlay,

tahapan berikutnya adalah melakukan analisis dengan metode *matching* dan *scoring*. Sebelum itu, beberapa *field* perlu ditambahkan untuk mempermudah analisis. Kedua metode tersebut dapat dilakukan secara manual atau menjalankan suatu program. Langkah akhir adalah *dissolve* untuk menggabungkan *polygon* yang berdampingan dan memiliki tingkat kesesuaian yang sama.

Scoring (pembobotan) dilakukan terhadap topografi dan wilayah meliputi jarak dari outlet lindi, jenis aliran, kemiringan aliran sungai, kadar Pb dan kadar Cd dalam sedimen aliran air sungai. Pembobotan tersebut berdasarkan faktor terjadinya pengendapan logam Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo. Untuk selanjutnya scoring (pembobotan) dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3.2. Pembobotan (*scoring*) dalam Analisis Spasial Pencemaran Logam Berat Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo

No	Komponen	Kelas	Nilai	Bobot	Nilai Total
1.	Jarak (M)	0 - 120	2	3	6
		121 - 240	4		12
		241 - 360	6		18
		361 - 480	8		24
		481 - 600	10		30
2.	Jenis Aliran	Laminer	5	2	10
		Turbulen	10		20
3.	Kemiringan Aliran Sungai (%)	0 - 5	2	1	2
		5 - 10	4		4
		10 - 15	6		6
		15 - 20	8		8
		20 - 25	10		10
4.	Kadar logam Pb (mg/kg)	0.00-0,50	10	3	30
		0,50-1,00	8		24
		1,00-1,50	6		18
		1,50-2,00	4		12
		2,00-2,50	2		6
5.	Kadar logam Cd (mg/kg)	0,00-0,006	10	3	30
		0,006-0,012	8		24
		0,012-0,018	6		18
		0,018-0,024	4		12
		0,024-0,030	2		6

BAB IV

HASIL PENELITIAN

A. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

TPA Jatibarang merupakan salah satu TPA yang berada di wilayah Semarang dengan wilayah pelayanan meliputi seluruh daerah pelayanan Kota Semarang. TPA Jatibarang mulai dioperasikan sejak bulan Maret 1992 untuk mengganti beberapa TPA di Kota Semarang yang telah ditutup, berturut - turut dari TPA Tapak, TPA Gombel Lama, TPA Mangunharjo, dan TPA Kedungmundu. Luas areal TPA Jatibarang adalah ± 46.1830 ha dengan rincian 27,7098 ha (60%) untuk lahan buang dan 18,4732 ha (40%) untuk infrastruktur, kolam lindi (*leachate*), sabuk hijau dan lahan *cover*. Daya tampung sampah 4,15 juta m³ sampah. Sedangkan sampai tahun 2005 timbunan sampah sudah mencapai 5,75 juta m³ sampah. Dengan demikian sudah melebihi daya tampung TPA sekitar 1,6 juta m³ sampah. Jarak dari pusat kota $\pm 11,4$ km, dan jarak terdekat dan terjauh dengan TPS masing - masing ± 4 km dan ± 25 km.

Lokasi TPA Jatibarang Semarang terletak di Kelurahan Kedungpane Kecamatan Mijen Kota Semarang. Wilayah lokasi TPA Jatibarang mempunyai batas – batas wilayah sebagai berikut :

- Sebelah utara : Kelurahan Bambankerep Kecamatan Ngaliyan.
- Sebelah selatan : Dukuh Kedawung Kelurahan Kedungpane Kecamatan Mijen
- Sebelah timur : Desa Sadeng Kecamatan Gunung Pati
- Sebelah barat : Dukuh Pucung Kecamatan Ngaliyan

1. Pola Topografi

TPA Jatibarang merupakan daerah bukit bergelombang dengan kemiringan lereng yang curam lebih besar dari 24%. Ketinggian bervariasi antara 63 m sampai 200 m dari muka laut. Kondisi topografi yang terjal ini mempunyai kapasitas tampungan besar, namun dapat mengakibatkan sulitnya operasional alat berat bila tidak didukung prasarana yang memadai.

2. Struktur Geologi

Daerah di sekitar termasuk dalam formasi Notopuro yang mempunyai umur geologis pleistosen atas (*upper pleistocene*) dan termasuk dalam batuan sedimen (*sedimentary rock*). Secara litologi formasi ini terdiri dari batuan produk vulkanik, konglomerat kasar, endapan lahar dan tufa. Satuan litologi tertua di Jatibarang yaitu lapisan marin (Tm), terdiri dari atas selang seling batu lempung, napal, batu pasir, konglomerat dan breksi vulkanik. Sekitar TPA Jatibarang yaitu adanya dua sesar yang mengapit TPA, yaitu daerah patahan Kalipancur berada di sebelah utara TPA dengan jarak sekitar satu kilometer. Satu patahan lagi yang berada di daerah Panjang yang bernama Patahan Gunung Kebo.

3. Gerakan tanah

Gerakan tanah daerah Semarang sebagian besar terjadi pada tanah dari batuan formasi Cipluk dan formasi Kalibuk, yang mempunyai rekah kerut yang kuat (*slacking effect*) juga diperkuat pada daerah sesar intensif dan tepi aliran sungai. Jenis gerakan tanah pada daerah ini kebanyakan adalah aliran tanah gelinciran tanah dan aliran lumpur. Sehingga di lokasi TPA risiko terjadinya gerakan atau longsor

tanah cukup besar mengingat kemiringan rata - rata yang lebih dari 24% terutama di daerah aliran Sungai Cebong.

4. Sistem Hidrologi

Lokasi TPA Jatibarang berada di daerah hulu Sungai Kreo dengan aliran menuju ke Sungai Kaligarang. Sekitar lokasi TPA Jatibarang terdapat sebuah aliran air permukaan yang biasa disebut masyarakat setempat sebagai alir Cebong. Alir Cebong ini selanjutnya bersatu dengan Sungai Kreo, kemudian mengalir ke daerah hilir dari Sungai Kreo, bersatu dengan Sungai Kripik dan Sungai Kaligarang yang menyayat dengan gradasi yang besar dan bertebing terjal. Pertemuan Sungai Kali Garang dan Sungai Kreo membentuk dataran banjir yang cukup lebar (± 500 m) sejauh 3 km di daerah Semarang. Air Kali Garang dipakai sebagai sumber air baku PDAM Kota Semarang sedangkan air Kali Cebong dipergunakan untuk mengairi sawah - sawah di atas Sungai Kreo.

Debit aliran sungai yang ada di sekitar TPA Jatibarang sangat bervariasi. Sungai Kreo mempunyai debit antara $120 - 330 \text{ m}^3/\text{detik}$, Sungai Kripik $150 - 190 \text{ m}^3/\text{detik}$, Sungai Garang $400 - 460 \text{ m}^3/\text{detik}$. Debit air sungai sekitar TPA Jatibarang dapat dilihat pada lampiran 4.

5. Air Tanah

Air tanah di sekitar lokasi TPA berupa air mata air dan juga air sumur penduduk dengan kedalaman berkisar antara 10 - 20 meter dari permukaan tanah. Untuk mengetahui dampak akibat resapan air tanah maka dibangun sumur kontrol yang berada ± 300 meter di sebelah utara TPA.

Lindi hasil proses dekomposisi mengalir mengikuti gerakan aliran air tanah. Lindi mengalir secara gravitasi dari bagian atas ke bawah. Aliran lindi mengalir melalui parit di sebelah kiri jalan, menuju ke bak penampung dan pengolahan lindi.

6. Iklim

Kota Semarang terletak di daerah yang memiliki iklim muson tropis. Arah angin dominan berasal dari arah Barat Laut. Dengan iklim muson tropis tersebut mengakibatkan terjadinya dua musim yaitu penghujan dan kemarau. Kedua musim tersebut berpengaruh terhadap kadar air di dalam sampah. Kadar air ini akan berpengaruh terhadap proses dekomposisi. Musim penghujan akan mengakibatkan proses dekomposisi sampah akan menjadi lebih cepat dan produksi lindi lebih banyak. Sedangkan musim kemarau proses dekomposisi menjadi lambat dan produksi lindi lebih sedikit dibandingkan pada musim penghujan. Apabila dilihat dari konsentrasi bahan pencemar pada musim penghujan lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi pencemar pada musim kemarau.

Iklim ini juga berpengaruh terhadap penyinaran matahari. Pengaruh penyinaran matahari ini terhadap dekomposisi sampah relatif kecil. Penyinaran matahari hanya akan berpengaruh terhadap permukaan sampah, namun demikian semakin tinggi frekuensi penyinaran matahari akan meningkatkan penguapan. Penguapan ini akan berpengaruh terhadap penurunan kandungan air sampah, sehingga akan mempengaruhi percepatan proses dekomposisi sampah.

B. Hasil penelitian kadar Pb dan Cd di TPA Jatibarang

Lindi TPA Jatibarang dihasilkan dari proses penguraian sampah yang ditimbun pada zone 1 sampai dengan zone 5. Dari proses penguraian tersebut lindi akan mengalir secara gravitasi menuju ke bak pengolahan lindi. Setelah masuk ke bak pengolah lindi kemudian dibuang ke Sungai Kreo.

Pengambilan sedimen aliran air Sungai Kreo dilakukan pada lokasi yang telah ditentukan, dengan lokasi titik sampling seperti pada lampiran 6.

1. Kadar Pb dan Cd pada lindi di TPA Jatibarang

Pengambilan sampel dilakukan selama dua hari pada tanggal 9 dan 10 Januari 2008. Lindi diambil pada outlet bak penampung lindi TPA Jatibarang. Pengambilan sampel dilakukan satu kali (sampel sesaat/*grab sample*).

Kadar Pb dan Cd pada lindi di TPA Jatibarang setelah dilakukan pengambilan dan pemeriksaan sampel dengan menggunakan AAS diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.1. Hasil pengukuran kadar Pb dan Cd pada lindi di TPA Jatibarang, 2008

No	Variabel	Kadar	Satuan
1.	Kadar Pb pada lindi	0,136	mg/lt
2.	Kadar Cd pada lindi	0,09	mg/lt

Sumber : data primer

Tabel 4.1. menunjukkan bahwa kadar Pb dalam lindi sebesar 0,136 mg/lt dan kadar Cd dalam lindi sebesar 0,09 mg/lt.

2. Kadar Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo

Kadar Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo yang diambil dan dilakukan pemeriksaan dengan menggunakan AAS pada 10 titik pengambilan sampel diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2. Hasil pengukuran kadar Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo , 2008

No	Titik Sampling	Kadar (mg/kg)		No	Titik Sampling	Kadar (mg/kg)	
		Pb	Cd			Pb	Cd
1.	Titik I			6.	Titik VI		
	A.	0,013	0,000		A.	1,488	0,009
	B.	0,011	0,000		B.	1,441	0,010
	C.	0,008	0,000		C.	1,273	0,010
2.	Titik II			7.	Titik VII		
	A.	4,295	0,027		A.	1,089	0,009
	B.	2,548	0,019		B.	1,061	0,008
	C.	0,114	0,011		C.	1,087	0,008
3.	Titik III			8.	Titik VIII		
	A.	2,192	0,019		A.	0,812	0,006
	B.	1,969	0,017		B.	0,722	0,007
	C.	1,901	0,018		C.	0,651	0,006
4.	Titik IV			9.	Titik IX		
	A.	2,471	0,020		A.	0,979	0,008
	B.	2,314	0,019		B.	0,916	0,008
	C.	1,801	0,018		C.	0,988	0,007
5.	Titik V			10.	Titik X		
	A.	1,599	0,014		A.	0,615	0,004
	B.	1,505	0,011		B.	0,591	0,005
	C.	1,536	0,013		C.	0,607	0,005

Sumber : data primer

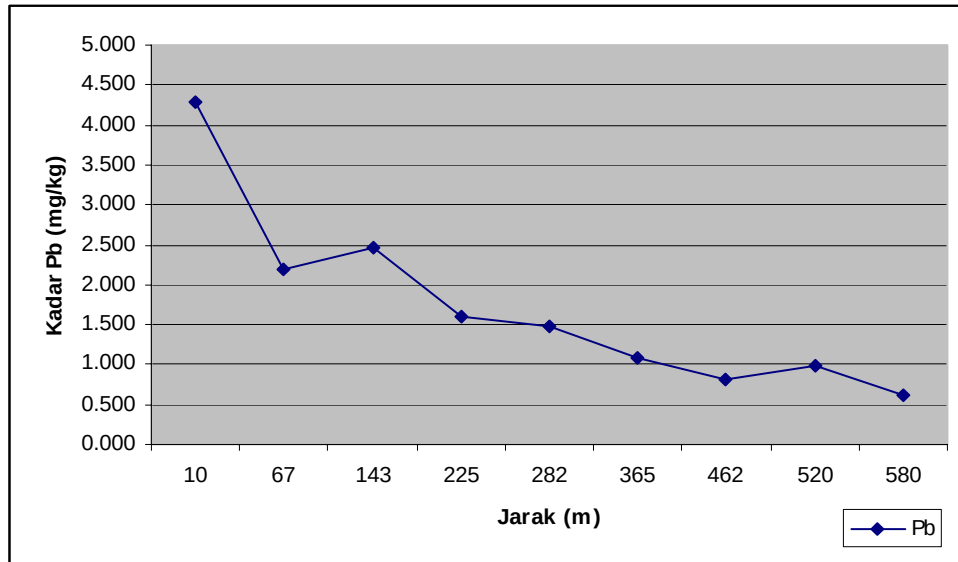
Keterangan :

A = Bagian pinggir kanan

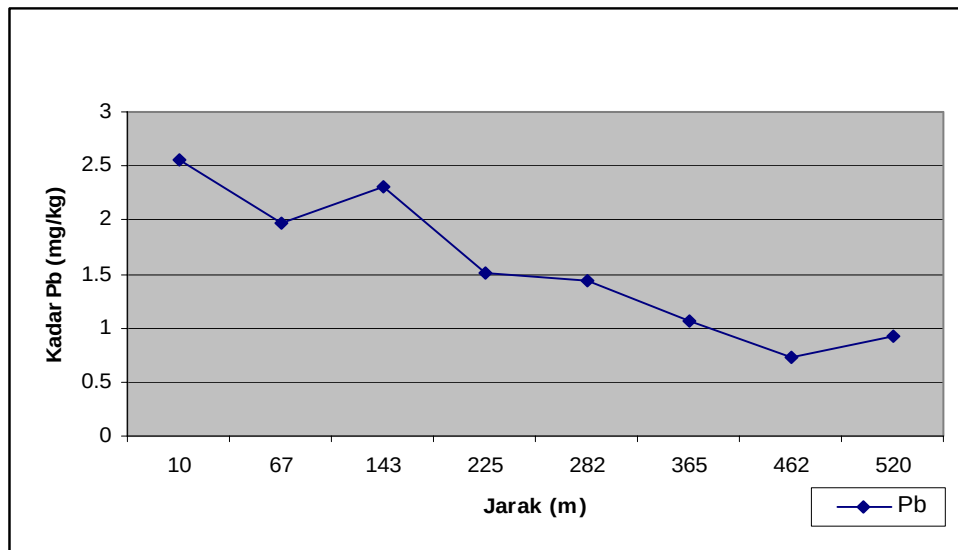
B = Bagian tengah

C = Bagian pinggir kiri

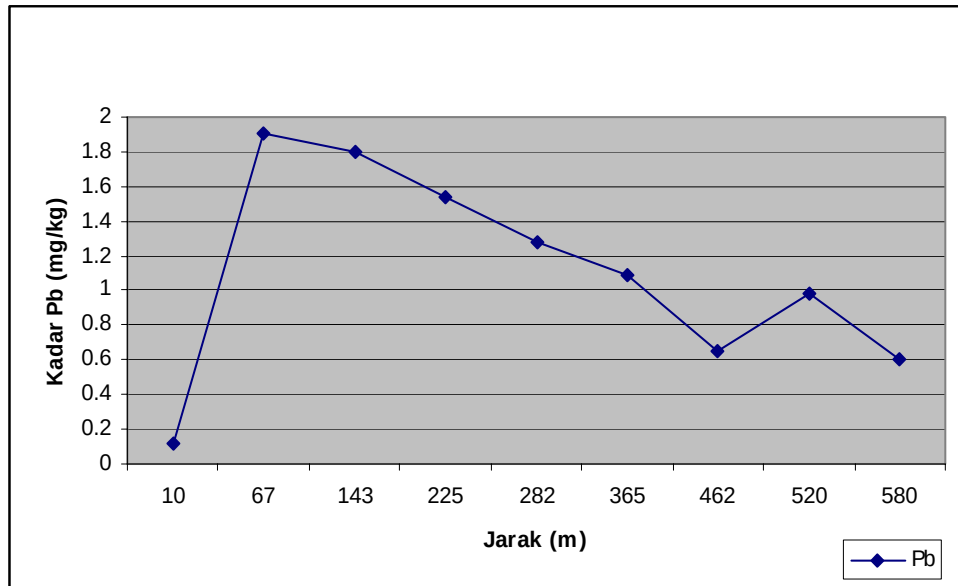
Berdasarkan tabel 4.2. dapat dibuat grafik yang menghubungkan antara kadar Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo dengan jarak titik sampling (meter).



Grafik 4.1. Hasil pengukuran kadar logam Pb pada bagian pinggir kanan (A)

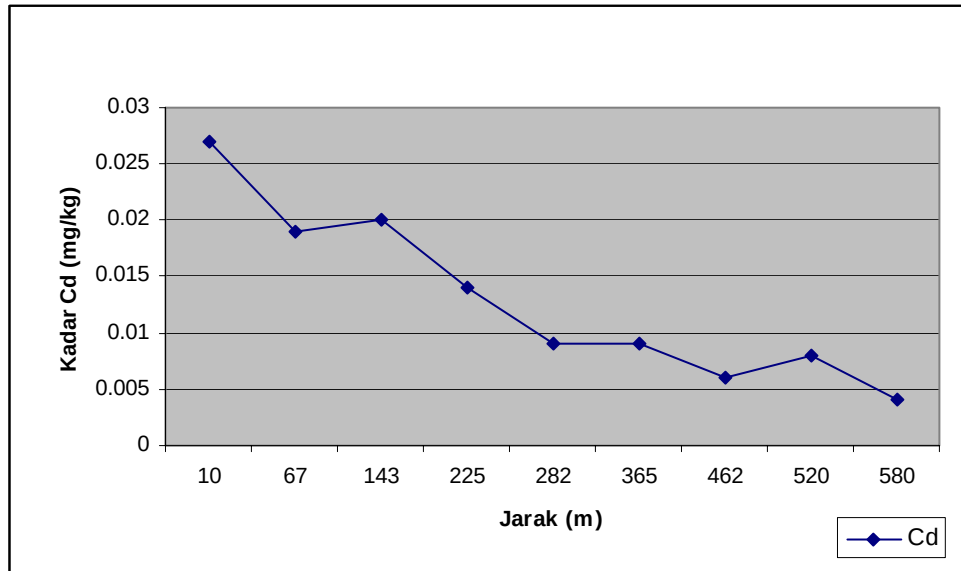


Grafik 4.2. Hasil pengukuran kadar logam Pb pada bagian tengah (B)

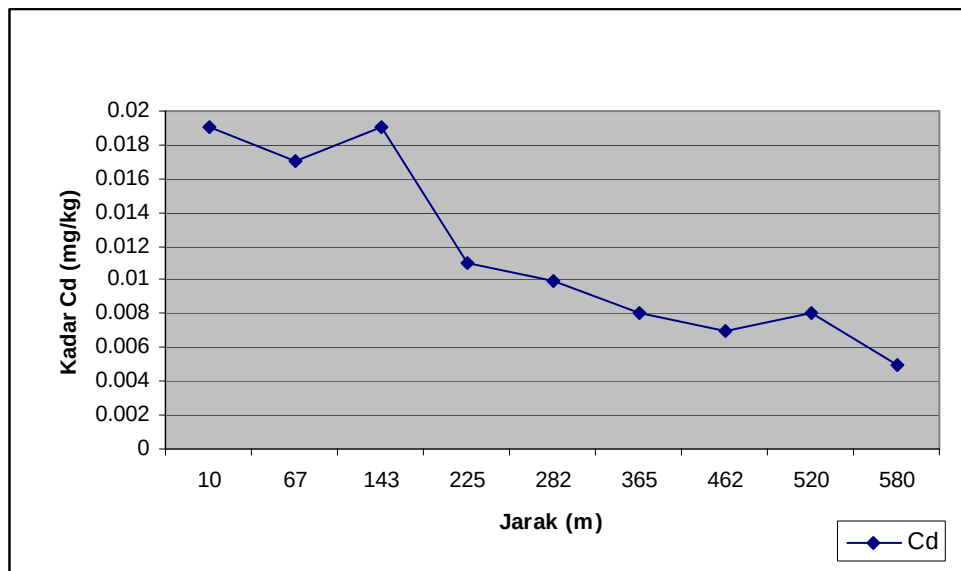


Grafik 4.3. Hasil pengukuran kadar logam Pb pada bagian pinggir kiri (C)

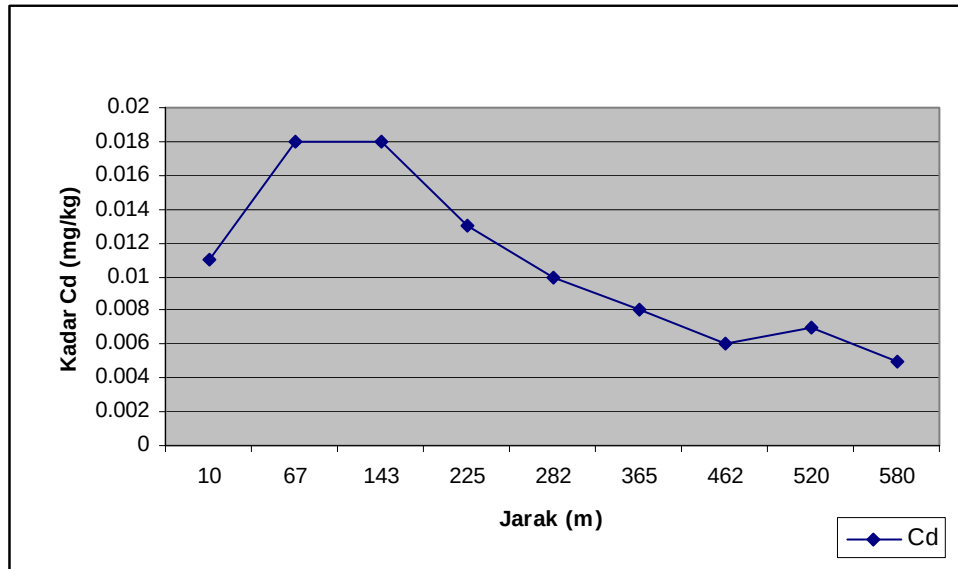
Berdasarkan grafik 4.1, 4.2 dan 4.3 dapat dilihat beda penyebaran kadar Pb dalam sedimen. Pada bagian pinggir kanan (A), kadar Pb lebih besar dibandingkan dengan bagian tengah (B) dan bagian pinggir kiri (C). Kadar Pb pada bagian tengah (B) lebih besar dibandingkan dengan kadar Pb pada bagian pinggir kiri (C). Hal ini disebabkan karena penyebaran lindi dari outlet pembuangan yang tidak menyebar rata. Penyebaran lindi mendominasi bagian pinggir kanan, terus tengah kemudian baru kebagian pinggir kiri. Untuk pola penyebaran setelah jarak 67 meter mempunyai pola yang sama untuk masing-masing bagian yaitu pinggir kanan (A), tengah (B) dan pinggir kiri (C).



Grafik 4.4. Hasil pengukuran kadar logam Cd pada bagian pinggir kanan (A)

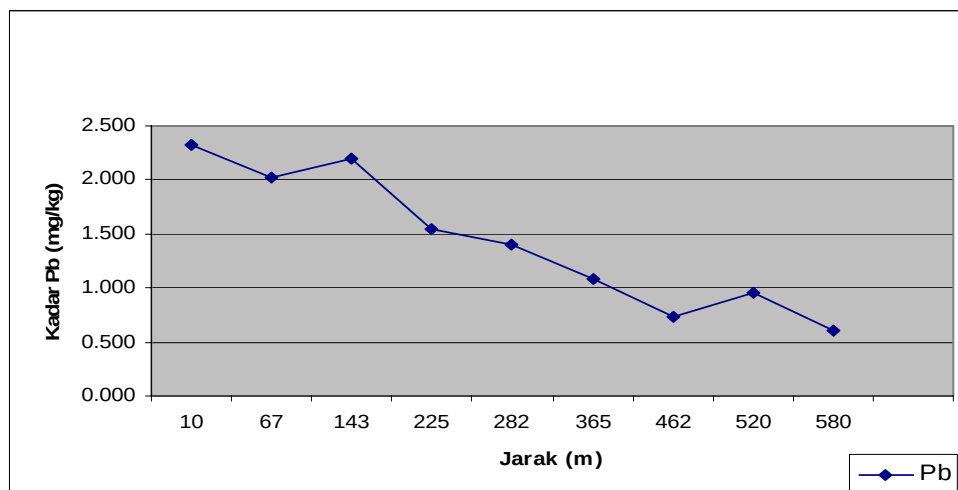


Grafik 4.5. Hasil pengukuran kadar logam Cd pada bagian tengah (B)

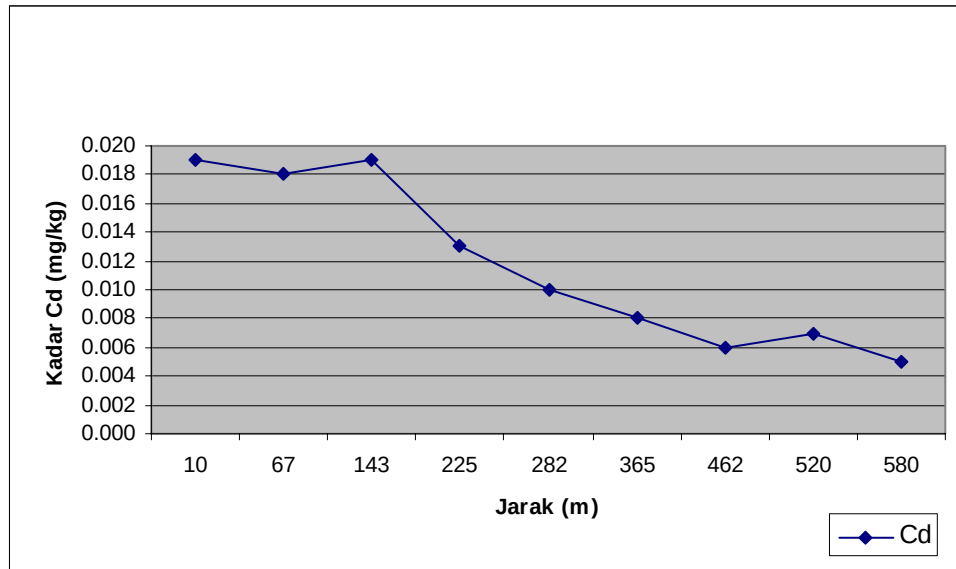


Grafik 4.6. Hasil pengukuran kadar logam Cd pada bagian pinggir kiri (C)

Pola penyebaran logam Cd pada sedimen Sungai Kreo berdasarkan grafik 4.4, 4.5 dan 4.6 sama seperti penyebaran logam Pb. Hal ini disebabkan hal yang sama yaitu penyebaran yang tidak merata pada jarak 10 meter dari outlet. Pada jarak setelah 67 meter pola penyebaran antara pinggir kanan, tengah dan pinggir kiri sama.



Grafik 4.7. Hasil pengukuran rerata kadar logam Pb pada sedimen aliran Sungai Kreo



Grafik 4.8. Hasil pengukuran rerata kadar logam Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo

Berdasarkan grafik 4.7. dan 4.8. dapat dilihat suatu kecenderungan semakin jauh jarak dari outlet lindi, semakin kecil kadar logam timbal dan kadmium dalam sedimen.

3. Jenis aliran

Jenis aliran pada titik pengambilan sampel diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.3. Jenis aliran Sungai Kreo berdasarkan pengamatan tanggal 9 - 10 Januari 2008

No	Titik Pengambilan Sampel	Jenis aliran
1.	Titik I	Laminer
2.	Titik II	Turbulen
3.	Titik III	Laminer
4.	Titik IV	Turbulen
5.	Titik V	Turbulen
6.	Titik VI	Turbulen
7.	Titik VII	Turbulen
8.	Titik VIII	Turbulen
9.	Titik IX	Laminer
10.	Titik X	Turbulen

Sumber : data primer

Tabel 4.3. menunjukkan bahwa pada titik pengambilan sampel aliran Sungai Kreo pada titik 1, titik 3 dan titik 9 termasuk dalam jenis aliran laminar, sedangkan pada titik 2, titik 4, titik 5, titik 6, titik 7, titik 8, dan titik 10 termasuk dalam jenis aliran turbulen.

4. Kemiringan aliran Sungai Kreo

Untuk mengetahui faktor pengendapan logam Pb dan Cd dilakukan pengukuran kemiringan aliran sungai. Hasil pengukuran kemiringan aliran sungai adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4. Hasil pengukuran kemiringan aliran Sungai Kreo, 2008

No	Titik Pengambilan Sampel	Kemiringan (%)
1.	Titik I	-
2.	Titik II	20
3.	Titik III	12,1
4.	Titik IV	20,8
5.	Titik V	12,5
6.	Titik VI	5,5
7.	Titik VII	3,5
8.	Titik VIII	10,5
9.	Titik IX	20,0
10.	Titik X	7,5

Sumber : data primer

Tabel 4.4. menunjukkan bahwa kemiringan aliran air sungai pada titik 2 sebesar 20%, titik 3 sebesar 12,1%, titik 4 sebesar 20,8%, titik 5 sebesar 12,5%, titik 6 sebesar 5,5%, titik 7 sebesar 3,5%, titik 8 sebesar 10,5%, titik 9 sebesar 20,0% dan titik 10 sebesar 7,5%.

5. Jarak

Jarak pengambilan sampel dari outlet lindi diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.5. Jarak pengambilan sampel Pb dan Cd di dalam sedimen Sungai Kreo dari outlet lindi TPA Jatibarang, 2008

No	Titik Pengambilan Sampel	Jarak (meter)
1.	Titik I	158*
2.	Titik II	10
3.	Titik III	67
4.	Titik IV	143
5.	Titik V	225
6.	Titik VI	282
7.	Titik VII	365
8.	Titik VIII	462
9.	Titik IX	520
10.	Titik X	580

Sumber : data primer

Keterangan : * = diambil sebelum outlet lindi

Tabel 4.5. menunjukkan bahwa titik pengambilan sampel dilakukan pada titik 1 pada jarak 158 meter sebelum outlet lindi, titik 2 pada jarak 10 meter, titik 3 pada jarak 67 meter, titik 4 pada jarak 143 meter, titik 5 pada jarak 225 meter, titik 6 pada jarak 282 meter, titik 7 pada jarak 365 meter, titik 8 pada jarak 462 meter, titik 9 pada jarak 520 meter dan titik 10 pada jarak 580 meter. Pada titik 2 sampai dengan titik 10 diambil setelah outlet lindi.

6. Rekapitulasi hasil penelitian di lapangan

Rekapitulasi hasil penelitian di lapangan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.6. Hasil pengukuran kadar Pb dan Cd (rerata), jenis aliran, kemiringan dan jarak pengukuran pada aliran Sungai Kreo, 2008

No	Titik pengambilan sampel	Rerata kadar Pb dalam sedimen (mg/kg)	Rerata kadar Cd pada sedimen (mg/kg)	Jenis aliran	Kemiringan (%)	Jarak (m)
1.	Titik I	0,011	0,0001	Laminer	-	158*
2.	Titik II	2,319	0,019	Turbulen	20	10
3.	Titik III	2,021	0,018	Laminer	12,1	67
4.	Titik IV	2,196	0,019	Turbulen	20,8	143
5.	Titik V	1,547	0,012	Turbulen	12,5	225
6.	Titik VI	1,401	0,010	Turbulen	5,5	282
7.	Titik VII	1,079	0,008	Turbulen	3,5	365
8.	Titik VIII	0,728	0,006	Turbulen	10,5	462
9.	Titik IX	0,961	0,008	Laminer	20,0	520
10.	Titik X	0,607	0,005	Turbulen	7,5	580

Sumber : data primer

C. Hasil Analisis Bivariat

1. Kadar Pb lindi dengan Pb sedimen aliran Sungai Kreo

Untuk menganalisis perbedaan kadar Pb lindi dengan Pb sedimen aliran Sungai Kreo dilakukan uji *paired samples test* pada $\alpha = 0,05$.

Tabel 4.7. Uji *Paired samples test* kadar Pb lindi dengan kadar Pb sedimen aliran Sungai Kreo

No	Variabel	Mean	CI 95%	t	Nilai p
1.	Pb lindi - Pb sedimen	-1,29278	-1,78302 - (-0,80253)	-6,081	0,0001

Tabel 4.7. menunjukkan bahwa pada uji *paired samples test* antara Pb lindi dengan Pb sedimen aliran Sungai Kreo diperoleh nilai p sebesar 0,0001. Nilai p tersebut lebih kecil dari 0,05 ($p < 0,05$) berarti secara statistik ada perbedaan yang bermakna antara kadar Pb lindi dengan kadar Pb sedimen aliran Sungai Kreo.

2. Kadar Cd lindi dengan Cd sedimen aliran Sungai Kreo

Untuk menganalisis perbedaan kadar Cd lindi dengan Cd sedimen aliran Sungai Kreo dilakukan uji *paired samples test* pada $\alpha = 0,05$.

Tabel 4.8. Uji *Paired samples test* kadar Cd lindi dengan kadar Cd sedimen aliran Sungai Kreo

No	Variabel	Mean	CI 95%	t	Nilai p
1.	Cd lindi - Cd sedimen	0,07925	0,07485 – 0,08365	42,634	0,0001

Tabel 4.8. menunjukkan bahwa pada uji *paired samples test* antara kadar Cd lindi dengan kadar Cd sedimen aliran Sungai Kreo diperoleh p sebesar 0,0001. Nilai p tersebut lebih kecil dari 0,05 ($p < 0,05$) berarti secara statistik ada perbedaan bermakna antara kadar Cd lindi dengan kadar Cd sedimen aliran Sungai Kreo.

3. Kadar Pb sedimen aliran Sungai Kreo dengan jarak outlet

Analisis hubungan kadar Pb sedimen aliran Sungai Kreo dengan jarak outlet lindi dilakukan menggunakan uji regresi linier sederhana. Hasil analisis tersebut dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.9. Hasil uji kadar Pb sedimen aliran Sungai Kreo dengan jarak outlet

No	Variabel	R square	Nilai a	Nilai b	Nilai p
1.	Pb sedimen - jarak	0,932	2,328	-0,003	0,0001

Tabel 4.9. menunjukkan bahwa ada pengaruh jarak dengan kadar Pb sedimen aliran Sungai Kreo dengan nilai $p = 0,0001$ ($p < 0,05$), dan koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,932. Hasil analisis menunjukkan bahwa jarak mempengaruhi kadar Pb

sedimen aliran Sungai Kreo sebesar 93,2% sedangkan 6,8% disebabkan oleh faktor lain dengan konstanta sebesar 2,328 dan -0,003.

4. Kadar Cd sedimen aliran Sungai Kreo dengan jarak outlet

Analisis hubungan kadar Cd sedimen aliran Sungai Kreo dengan jarak outlet lindi dilakukan menggunakan uji regresi linier sederhana. Hasil analisis tersebut dengan hasil sebagai berikut:

Tabel. 4.10. Hasil uji kadar Cd dengan jarak outlet lindi

No	Variabel	R square	Nilai a	Nilai b	Nilai p
1.	Cd sedimen - jarak	0,907	0,019	-0,0000270	0,0001

Tabel 4.10. menunjukkan bahwa ada hubungan jarak dengan kadar Cd sedimen aliran Sungai Kreo dengan nilai $p = 0,0001$ ($p < 0,05$) dan koefisien determinasi (r^2) sebesar 0,907.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa jarak mempengaruhi kadar Cd sedimen aliran Sungai Kreo sebesar 90,7% sedangkan 9,3% disebabkan oleh faktor lain dengan konstanta sebesar 0,019 dan -0,0000270.

5. Rekapitulasi hasil analisis bivariat pencemaran logam berat Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo di TPA Jatibarang Semarang.

Tabel 4.11. Rekapitulasi hasil analisis bivariat pencemaran logam berat Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo di TPA Jatibarang Semarang

No	Variabel	Nilai p	r^2
1.	Kadar Pb lindi dengan Pb sedimen aliran	0,0001	-

	Sungai Kreo		
2.	Kadar Cd lindi dengan Cd sedimen aliran Sungai Kreo	0,0001	-
3.	Jarak outlet lindi dengan kadar Pb sedimen aliran Sungai Kreo	0,0001	0,932
4.	Jarak outlet lindi dengan kadar Cd sedimen aliran Sungai Kreo	0,0001	0,907

D. Analisis Spasial

Analisis spasial sebagai bagian dari manajemen penyakit berbasis lingkungan dan wilayah merupakan suatu analisis dan uraian tentang data penyakit secara geografi berbasis kependudukan, lingkungan, perilaku, sosial ekonomi, kasus kejadian penyakit, dan hubungan antar variabel tersebut.

Analisis spasial pada penelitian ini bertujuan untuk melihat karakteristik wilayah yang meliputi topografi dan geografi seperti debit air, jarak, jenis aliran, kemiringan aliran sungai, dengan kadar Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo. Hasil analisis variabel tersebut dengan pendekatan spasial menggunakan Program Arc View 3.2 dengan metode *overlay* atau tumpang susun.

Berdasarkan hasil analisis variabel dengan metode *overlay* dapat dilihat bahwa titik 1 sebagai kontrol. Pada jarak 0 meter sampai jarak 143 meter dari outlet lindi terjadi pencemaran logam Pb dengan kelas tinggi. Sedangkan pada jarak mulai 143 meter sampai dengan jarak 282 meter terjadi pencemaran logam Pb dengan kelas sedang. Pada jarak mulai 282 meter sampai dengan jarak 580 meter terjadi pencemaran logam Pb dengan kelas rendah seperti pada lampiran 7.

Hasil analisis variabel dengan metode *overlay* dapat dilihat bahwa titik 1 sebagai kontrol. Pada jarak 0 meter sampai dengan jarak 143 meter dari outlet lindi terjadi pencemaran logam Cd dengan kelas tinggi. Sedangkan mulai jarak 143 meter

sampai dengan jarak 365 meter terjadi pencemaran logam Cd kelas sedang. Pada jarak mulai 365 meter sampai dengan jarak 580 meter terjadi pencemaran logam Cd dengan kelas rendah. Gambaran ini dapat dilihat pada lampiran 8.

Hasil analisis variabel dengan metode *overlay* dapat dilihat bahwa titik 1 sebagai kontrol. Pada jarak 0 meter sampai dengan jarak 143 meter dari outlet lindi terjadi pencemaran logam Pb dan Cd dengan kelas tinggi. Sedangkan mulai jarak 143 meter sampai dengan jarak 365 meter terjadi pencemaran logam Pb dan Cd kelas sedang. Pada jarak mulai 365 meter sampai dengan jarak 580 meter terjadi pencemaran logam Pb dan Cd dengan kelas rendah. Gambaran ini dapat dilihat pada lampiran 9.

BAB V

PEMBAHASAN

A. Pembahasan

TPA Jatibarang sebagai tempat akhir pembuangan sampah di Kota Semarang. Semua jenis sampah tanpa melalui proses pemilahan dari berbagai sumber baik dari domestik, perdagangan maupun industri langsung dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah. Sumber sampah sangat berpengaruh terhadap karakteristik, jenis dan volume sampah.

Berbagai jenis sampah mengalami proses dekomposisi. Proses tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti topografi, curah hujan, geografi, jenis tanah serta musim. Proses dekomposisi akan menghasilkan lindi. Kandungan lindi terdiri atas bahan organik maupun bahan anorganik. Kandungan bahan organik ditunjukkan dengan besarnya kadar BOD dan COD. Sedangkan kandungan bahan anorganik diantaranya mengandung logam berat seperti Pb dan Cd.

Lindi hasil proses dekomposisi akan mengalir secara gravitasi ke bak pengumpul lindi. Setelah mengalami proses aerasi dan pengendapan dibuang ke Sungai Kreo. Adanya pembuangan lindi ke Sungai Kreo sangat memungkinkan terjadinya pencemaran logam berat Pb dan Cd pada sungai tersebut. Kandungan logam berat yang ada didalam lindi dapat bereaksi dengan partikel - partikel permukaan dalam perairan dan dapat mengendap sebagai sedimen. Untuk itu perlu dilakukan penelitian terhadap kadar Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo.

Penelitian ini dilakukan melalui pendekatan *cross sectional*. Pengambilan sampel dilakukan selama dua hari pada tanggal 9 dan 10 Januari 2008. Sedimen

sebagai sampel penelitian diambil pada 10 titik di aliran Sungai Kreo dan lindi pada outlet. Pengambilan setiap titik dilakukan satu kali (sampel sesaat/*grab sample*), pada tiga bagian yaitu pinggir kanan (A), tengah (B) dan pinggir kiri (C).

Hasil penelitian menunjukkan pada titik 1 (kontrol) dengan jarak 150 meter sebelum outlet lindi kadar Pb dalam sedimen diperoleh rerata sebesar 0,011 mg/lt dan kadar Cd diperoleh rerata sebesar 0,0001 mg/lt. Hal ini disebabkan karena belum tercemarnya daerah tersebut oleh lindi. Hasil penelitian pada titik 2 bagian pinggir kanan (A) kadar Pb sedimen sebesar 4,295 mg/kg, bagian tengah (B) sebesar 2,548 mg/kg dan bagian pinggir kiri (C) sebesar 0,114 mg/kg, dengan rerata sebesar 2,319 mg/kg. Kadar Cd pada titik 2 bagian pinggir kanan (A) sebesar 0,027 mg/kg, bagian tengah (B) sebesar 0,019 mg/kg dan pada bagian pinggir kiri sebesar 0,011 mg/kg, dengan rerata sebesar 0,019 mg/kg. Pada titik 2 kadar Pb dan Cd dalam sedimen antara bagian pinggir kanan (A), tengah (B) dan pinggir kiri (C), mempunyai kadar yang sangat berbeda. Hal tersebut disebabkan karena penyebaran lindi pada jarak 10 meter di aliran sungai tidak merata. Kecepatan dan besarnya debit aliran sungai berpengaruh terhadap pencampuran lindi dalam aliran sungai. Hal ini disebabkan karena adanya pemotongan aliran lindi oleh aliran sungai. Pada bagian pinggir kanan (A) akan mendapatkan aliran lindi yang lebih banyak dibandingkan dengan bagian tengah dan pinggir kiri, sehingga berpengaruh terhadap kadar Pb dalam sedimen. Masuknya kandungan logam Pb dan Cd ke dalam tatanan suatu lingkungan diakibatkan oleh adanya aktivitas manusia seperti buangan industri yang mengandung logam Pb dan Cd.²³

Di samping hal tersebut pada bagian pinggir kanan (A) dari pengamatan langsung mempunyai kekeruhan (zat tersuspensi) yang besar. Hal ini dapat dilihat dari warna air yang kecoklatan. Logam berat Pb dan Cd diabsorpsi oleh zat padat tersuspensi.^{xxxiii} Konsentrasi logam berat yang lebih tinggi ditemukan pada sedimen lempung, lempung berpasir daripada pasir.^{xxxiv}

Ion - ion logam Pb dan Cd akan terangkut sesuai dengan aliran air dalam tanah, dan sebagian daripadanya akan berpindah mengikuti aliran permukaan. Akibat perpindahan ini akan terjadi gangguan berupa masuknya logam Pb dan Cd ke dalam badan perairan.²³

Pada titik 4 terjadi peningkatan kadar Pb dan Cd dalam sedimen dibandingkan dengan titik 3. Hal ini disebabkan karena adanya rembesan lindi pada daerah titik sampling antara titik 3 dan titik 4. Lindi ini tidak melalui bak pengolah lindi dan mengalir ke sungai secara bebas. Dilihat dari letak geografisnya aliran lindi dari zona penimbunan ke bak pengumpul lindi sangat memungkinkan lindi merembes dan mengalir langsung ke sungai.

Hasil pengamatan terhadap jenis aliran dan hasil analisa kadar Pb dan Cd pada sedimen dapat ditemui adanya peningkatan kandungan logam tersebut apabila dibandingkan dengan titik pengambilan sebelumnya. Hal ini dapat terlihat pada titik pengambilan 9, di mana kadar Pb dan Cd lebih tinggi dibandingkan dengan titik 8. Penyebab dari keadaan ini karena jenis aliran laminar mempunyai pengaruh langsung terhadap proses sedimentasi.

Secara umum dari tabel 4.4. dan 4.5. dapat dilihat bahwa kadar Pb dan Cd terjadi penurunan dari titik ke - 2 sampai dengan titik ke - 10.

Hasil penelitian untuk mengetahui beda antara kadar Pb pada lindi dan kadar Pb pada sedimen dengan menggunakan uji *paired samples test*. Hasil statistik diperoleh nilai $p = 0,0001$ dengan $\alpha = 0,05$. Nilai p tersebut lebih kecil dari 0,05 sehingga ada beda antara kadar Pb pada lindi dengan kadar Pb pada sedimen.

Hasil penelitian untuk mengetahui beda antara kadar Cd pada lindi dan kadar Cd pada sedimen dengan menggunakan uji *paired samples test*. Hasil statistik diperoleh nilai $p = 0,0001$ dengan $\alpha = 0,05$. Nilai p tersebut lebih kecil dari 0,05 sehingga ada beda antara kadar Cd pada lindi dengan kadar Cd pada sedimen. Nilai tersebut diperoleh dengan membandingkan kadar Pb lindi dengan kadar Pb sedimen rerata dari masing - masing titik sampling.

Kadar Pb pada lindi lebih kecil dibandingkan dengan kadar Pb sedimen aliran Sungai Kreo. Beda tersebut disebabkan karena terjadinya proses pengendapan logam Pb dan Cd pada sedimen aliran sungai. Proses pengendapan ini akan mengakibatkan penumpukan logam Pb maupun Cd pada sedimen.

Pengendapan logam Pb dan Cd dipengaruhi oleh jenis aliran, kemiringan aliran air sungai dan jarak outlet lindi. Jenis aliran yang ada pada Sungai Kreo ada dua jenis yaitu laminar dan turbulen. Aliran laminar akan mempercepat terjadinya proses pengendapan logam Pb dan Cd. Sedangkan aliran turbulen akan memperkecil proses terjadinya pengendapan logam Pb dan Cd. Pengaruh lain dari aliran turbulen adalah akan menyebabkan endapan yang sudah terbentuk terpecah kembali, sehingga berakibat terhadap penurunan kadar Pb dan Cd.

Kemiringan aliran sungai juga berpengaruh terhadap pengendapan logam Pb dan Cd. Kemiringan yang cukup besar akan mengakibatkan terjadinya aliran sungai

menjadi turbulen, sedangkan kemiringan yang kecil akan mengakibatkan aliran sungai menjadi laminar. Jenis aliran akan berpengaruh terhadap proses pengendapan logam Pb dan Cd. Dasar aliran sungai yang cenderung datar dan rendahnya kecepatan aliran akan mengakibatkan pembentukan lumpur atau sedimen.^{xxxv}

Jarak outlet lindi juga berpengaruh terhadap besarnya kadar Pb dan Cd di dalam sedimen aliran sungai. Pada jarak yang lebih dekat akan mempunyai kadar Pb dan Cd yang lebih besar dibandingkan dengan jarak yang lebih jauh. Penyebab keadaan seperti ini adalah besarnya konsentrasi lindi yang lebih pekat dibanding pada jarak yang lebih jauh. Dengan pekatnya konsentrasi lindi maka kadar Pb dan Cd secara otomatis juga besar.

Hasil penelitian untuk mengetahui hubungan jarak outlet lindi terhadap kadar Pb pada sedimen digunakan uji regresi linier sederhana. Hasil statistik diperoleh nilai $p = 0,0001$ dan $r^2 = 0,907$. Nilai p lebih kecil dibandingkan dengan $\alpha = 0,05$ sehingga secara statistik bermakna, ada hubungan jarak outlet lindi terhadap kadar Pb pada sedimen aliran sungai. Nilai $r^2 = 0,907$ artinya bahwa jarak memberikan kontribusi sebesar 90,7% terhadap kadar Pb pada sedimen aliran sungai sedangkan 9,3% kadar Pb pada sedimen aliran sungai disebabkan oleh faktor lain.

Persamaan garis regresi diperoleh persamaan : $y = a + bX$. Hasil penelitian secara statistik diperoleh nilai $a = 2,328$ dan nilai $b = -0,003$ sehingga didapat persamaan regresi linier sederhana : $y = 2,328 + (-0,003.X)$. Dari persamaan tersebut dapat diketahui setiap penambahan jarak 1 meter dari outlet lindi maka akan terjadi pengurangan kadar Pb pada sedimen sebesar 0,003 mg/kg.

Hasil penelitian untuk mengetahui hubungan jarak outlet lindi terhadap kadar Cd pada sedimen digunakan uji regresi linier sederhana. Hasil statistik diperoleh nilai $p = 0,0001$ dan $r^2 = 0,932$. Nilai p lebih kecil dibandingkan dengan $\alpha = 0,05$ sehingga secara statistik bermakna, ada pengaruh jarak outlet lindi terhadap kadar Cd pada sedimen aliran sungai. Nilai $r^2 = 0,932$ artinya bahwa jarak outlet lindi dengan aliran sungai memberikan kontribusi sebesar 93,2% terhadap kadar Pb pada sedimen aliran sungai sedangkan 6,8% kadar Cd pada sedimen aliran sungai disebabkan oleh faktor lain.

Berdasar hasil analisis di atas dapat dinyatakan bahwa semakin dekat jarak dengan outlet lindi maka semakin besar kadar Pb dan Cd dalam sedimen. Hal ini sesuai dengan teori bahwa ion - ion Pb dan Cd dalam perairan cenderung diabsorpsi dalam partikel - partikel yang terdeposit dalam sedimen dalam bentuk senyawa kompleks sulfida, hidroksida, dan karbonat yang tidak larut.³⁵

Persamaan garis regresi diperoleh persamaan : $y = a + bX$. Hasil penelitian secara statistik diperoleh nilai $a = 0,019$ dan nilai $b = -0,000027$ sehingga didapat persamaan regresi linier sederhana : $y = 0,019 + (-0,000027.X)$. Dari persamaan tersebut dapat diketahui setiap penambahan jarak 1 meter dari outlet lindi maka akan terjadi pengurangan kadar Cd pada sedimen sebesar 0,000027 mg/kg.

Analisis spasial yang dilakukan untuk memperoleh gambaran kelas pencemaran logam Pb dan Cd dengan memperhatikan berbagai faktor. Faktor – faktor tersebut antara lain jarak outlet lindi, kemiringan aliran air sungai, jenis aliran, dan kadar Pb dan Cd pada sedimen.

Kelas pencemaran logam Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo dibagi menjadi tiga kelas yaitu kelas pencemaran rendah, sedang dan tinggi. Nilai ini diperoleh dari penggabungan nilai pembobotan faktor - faktor yang berpengaruh terhadap pencemaran logam Pb dan Cd.

Kelas pencemaran tertinggi logam berat Pb pada sedimen aliran Sungai Kreo terjadi mulai dari jarak 0 meter sampai dengan jarak 143 meter dari outlet lindi. Kelas pencemaran sedang dimulai dari jarak 143 meter sampai dengan jarak 282 meter. Kelas pencemaran rendah dimulai dari jarak 282 meter sampai dengan jarak 580 meter sepanjang aliran Sungai Kreo.

Kelas pencemaran tinggi logam Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo terjadi mulai dari jarak 0 meter sampai dengan jarak 143 meter dari outlet lindi. Kelas sedang dimulai dari jarak 143 meter sampai dengan jarak 365 meter. Kelas rendah dimulai jarak 365 meter sampai dengan jarak 580 meter sepanjang aliran Sungai Kreo.

Kelas pencemaran tinggi Pb dan Cd (total) pada sedimen aliran Sungai Kreo terjadi mulai dari jarak 0 meter sampai dengan jarak 143 meter dari outlet lindi. Kelas sedang dimulai dari jarak 143 meter sampai dengan jarak 365 meter. Kelas rendah dimulai dari jarak 365 meter sampai dengan jarak 580 meter sepanjang aliran Sungai Kreo.

Berdasarkan analisis spasial kelas pencemaran sedang pada logam Pb dimulai dari jarak 143 meter sampai 282 meter dari outlet lindi, sedangkan pada logam Cd dimulai dari jarak 143 meter sampai dengan 365 meter. Pada kelas pencemaran rendah pada logam Pb dimulai dari jarak 282 meter sampai dengan jarak 580 meter, sedangkan pencemaran kelas rendah logam Cd dimulai dari jarak 365 meter sampai

dengan jarak 580 meter. Hal tersebut menunjukkan bahwa pencemaran logam Cd dapat mencakup area yang lebih jauh dibandingkan pencemaran logam Pb.

B. Keterbatasan Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini ada beberapa keterbatasan antara lain:

1. Disain penelitian yang digunakan adalah *study cross sectional* di mana pengambilan sampel penelitian dilakukan secara sesaat sehingga hasil penelitian ini hanya menggambarkan keadaan pada saat tersebut .
2. Variabel - variabel lain berpengaruh dan belum dilakukan penelitian antara lain adalah derajat keasaman (pH), suhu, zat padat tersuspensi (TSS), dan tipe sedimen.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Kadar Pb dalam lindi sebesar 0,0136 mg/lit sedangkan kadar Cd sebesar 0,09 mg/lit.
2. Kadar Pb dalam sedimen pada jarak 150 meter sebelum outlet lindi 0,011 mg/kg, sedangkan kadar Cd = 0,000 mg/kg, jarak 10 meter dari outlet lindi kadar Pb = 2,319 mg/kg, Cd = 0,019 mg/kg, jarak 67 meter kadar Pb = 1,425 mg/kg, Cd = 0,018 mg/kg, jarak 143 meter kadar Pb = 2,195 mg/kg, Cd = 0,019 mg/kg, jarak 225 meter kadar Pb = 1,546 mg/kg, Cd = 0,012 mg/kg, jarak 282 meter kadar Pb = 1,401 mg/kg, Cd = 0,009 mg/kg, jarak 365 meter kadar Pb = 1,079 mg/kg, Cd = 0,008 mg/kg, jarak 462 meter kadar Pb = 0,728 mg/kg, Cd = 0,006 mg/kg, jarak 520 meter kadar Pb = 0,961 mg/kg, Cd = 0,008 mg/kg, jarak 580 meter kadar Pb = 0,604 mg/kg, Cd = 0,005 mg/kg.
3. Ada beda antara kadar Pb pada lindi dengan kadar Pb pada sedimen aliran Sungai Kreo dengan nilai $p = 0,0001$.
4. Ada beda antara kadar Cd pada lindi dengan kadar Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo dengan nilai $p = 0,0001$.
5. Ada hubungan jarak outlet lindi dengan kadar Pb pada sedimen aliran Sungai Kreo dengan nilai $p = 0,0001$ dan $r^2 = 0,907$.
6. Ada hubungan jarak outlet lindi dengan kadar Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo dengan nilai $p = 0,0001$ dan $r^2 = 0,932$.
7. Pencemaran logam Pb pada lindi dengan kelas pencemaran tinggi mulai dari jarak 0 meter sampai dengan jarak 143 meter dari outlet lindi, kelas sedang dimulai dari

jarak 143 meter sampai dengan jarak 282 meter dan kelas rendah dimulai dari jarak 282 meter sampai dengan jarak 580 meter.

8. Pencemaran logam Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo dengan kelas pencemaran tinggi terjadi mulai dari jarak 0 meter sampai dengan jarak 143 meter dari outlet lindi, kelas sedang dimulai dari jarak 143 meter sampai dengan jarak 365 meter dan kelas rendah dimulai jarak 365 meter sampai dengan jarak 580 meter.
9. Pencemaran logam Pb dan Cd pada sedimen aliran Sungai Kreo dengan kelas pencemaran tinggi terjadi mulai dari jarak 0 meter sampai dengan jarak 143 meter dari outlet lindi, kelas sedang dimulai dari jarak 143 meter sampai dengan jarak 365 meter dan kelas rendah dimulai jarak 365 meter sampai dengan jarak 580 meter.

B. Saran

1. Kepada Dinas Kebersihan Kota Semarang
 - a. Agar dilakukan pengolahan lindi sebelum lindi masuk ke aliran Sungai Kreo untuk menurunkan bahan pencemar yang ada dalam lindi.
 - b. Agar melakukan perbaikan pada bak pengolah lindi karena saat ini terjadi rembesan lindi.
 - c. Agar memonitor secara rutin kadar logam berat terutama Pb dan Cd pada aliran Sungai Kreo.
2. Kepada masyarakat
 - a. Agar melakukan pemilahan sampah sebelum sampah dibuang ke TPS.

- b. Agar meminimalkan sampah yang dihasilkan dengan menggunakan bahan yang dapat didaur ulang.

3. Kepada Peneliti selanjutnya

Diharapkan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan memasukkan variabel lain seperti derajat keasaman, suhu, zat padat tersuspensi dan jenis sedimen.

DAFTAR PUSTAKA

- ⁱ Badan Standardisasi Nasional, SNI 19 – 2454 – 2002, *Tata Cara Pengelolaan Teknis Sampah Perkotaan*, Jakarta, 2002.
- ⁱⁱ Kementrian Lingkungan Hidup, *Undang – Undang Pengelolaan Sampah*, Jakarta, 2005.
- ⁱⁱⁱ Arianto Wibowo & Darwin T Djajawinata, *Penanganan Sampah Perkotaan Terpadu*, Kumpulan Makalah, Bappenas, 2002.
- ^{iv} Dinas Pemukiman dan Prasarana Wilayah Propinsi Jawa Tengah, *Studi Evaluasi TPA Metropolitan Semarang*, Semarang, 2003.
- ^v Dinas Kebersihan Kota, *Profil Dinas Kebersihan Kota Semarang Pemerintah Kota Semarang*, Semarang, 2003.
- ^{vi} Wardhayani, Sutji, *Analisis Risiko Pencemaran Bahan Toksik Timbal (Pb) Pada Sapi Potong Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang*, Semarang, 2006.
- ⁷ Annynomous, *Pusat Informasi Lingkungan Hidup*, State Of The Environmental Report Indonesia, Bappedal, 2001.
- ^{viii} Health Research Board, *Health and Environmental Effect Of Landfilling And Inceneration Of Waste*, A Literature Review, Health Research Board, Dublin, 2003.
- ^{ix} Suara Merdeka, 2002, *TPA Jatibarang diperluas*, <http://www.suaramerdeka.com/harian/0211/17/kot5.htm>, tanggal download, 14 Juli, 2004.
- ^x K.Jagloo, *Groundwater Risk Analysis In Vicinity Of Landfill, A Case Study In Mauritis*, Departement Of Land And Water Resources Engineering, Royal Institute Of Tecnology, Stockholm, 2002.
- ¹¹ Parsons, *Impact of Landfill Closure Desig on Long – Term Natural Attenuation of Chlorinated Hydrocarbons*, Enviromental Security Technology Certification Program, Arlington, 2002.
- ^{xii} A.Langmore, *Minimum Requirement For Water Monitoring At Waste Management Facilities*, 2nd Edition, Departement Of Water Affairs And Forestry, Republic Of South Africa, 1998.
- ^{xiii} A.J.Paulson, *The Transport And Fate Of Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, and SO₄ In A Groundwater Plume And In Downstream Surface Waters In The Couer*

-
- d'Alene Mining District, Idaho, USA, *Applied Geochemistry* 12 (1997) 447 - 464.
- ^{xiv}. M.S.Faye, M.L. Diamond, *The Role Of Phytoplankton In The Removal Of Arsenic By Sedimentation From Surface Waters*, *Hydrobiologia* 324 (1996) 117 - 123
- ^{xv}. S.V.Matagi, D.Swai, R.Mugabe, *A Review Of Heavy Metal Removal Mechanisms In Wetlands*, *Afr J.Trop.Hydrobiol, Fish.* 8 (1998) 23 - 35
- ^{xvi}. Alfonds Andrew Maramis, Agustinus Ignatius Kristijanto, Soenarto Notoesoedarmo, *Sebaran Logam Berat Dalam Sedimen Dan Hubungannya Dengan Parameter Fisik Dan Hidrologi Di Sungai Kreo Semarang*, Seminar Nasional MIPA 2005, FMIPA - Universitas Indonesia Depok, Nopember 2005.
- ^{xvii}. Anonymous, *Bantuan Teknis Manajemen Persampahan Kota Semarang Untuk Anggaran 2005*, Laporan Akhir, CV. Rekayasa Jati Mandiri Semarang, 2006.
- ^{xviii}. Notoatmodjo, S, *Ilmu Kesehatan Masyarakat*, Penerbit Rineka Cipta, Jakarta, 1997.
- ^{xix}. Anonymous, *Rancang Bangun Alat Pengompos Sampah Berskala Rumah Tangga*, PUSLITKES LEMLIT Undip – BAPPEDA Kota Semarang, 2002.
- ^{xx}. Taufiq Andrianto T, *Audit Lingkungan*, Global Pustaka Utama Yogyakarta, 2002.
- ^{xxi}. Heryanto, Polar, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, CV. Rineka Cipta, Jakarta, 2004.
- ^{xxii}. Kusnoputranto, Haryoto, *Toksikologi Lingkungan*, Dirjen Dikti, Jakarta, 1996.
- ^{xxiii}. Fardiaz, S., *Polusi Air dan Udara*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta, 1995.
- ^{xxiv}. Darmono, *Lingkungan Hidup Dan Pencemaran*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2001.
- ^{xxv}. Tyas Rini S, *Analisis Kadar Timah Hitam Dalam Darah dan Pengaruhnya Terhadap Aktivitas Enzim Delta Aminolevulinic Acid Dehidratase dan Kadar Haemoglobin Dalam Darah Karyawan di Industri Peleburan Timah Hitam*, Universitas Padjajaran Bandung, 1998.
- ^{xxvi}. Zens C, *Occupational Medicine Third Edition Departement Of Enviromental Health University Of Cincinnati Medical Center Cincinnati – Ohio*, 1994
- ^{xxvii}. Anonymous, *Lead Health Effects*, Departement Of Labor, [Http://www.osha.gov](http://www.osha.gov).
- ^{xxviii}. Nuarsa, IW, *Mengolah Data Spasial Dengan Map Info Profesional*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2004.

-
- ^{xxix}. Achmadi, Umar Fahmi, *Manajemen Penyakit Berbasis Wilayah*, Penerbit Buku Kompas, Jakarta, 2005.
- ^{xxx}. Raharjo, S., *Sistem Informasi Geografis*, Jurusan Geografi FMIPA Universitas Indonesia, Jakarta, 1996.
33. APHA, *Standart Methods For The Examination Of Water And Wastewater*, 21th Edition, American Public Health Association 1015 Fifteenth Street, NW Washington DC, 2005.
- ^{xxxii}. Sugiyono, *Statistika Untuk Penelitian*, Cetakan ke - 5, CV Alfabeta, Bandung, 2003.
- ^{xxxiii} Dojlido, J.R. and G.A.Best, *Chemistry Of Water Water Pollution*, Ellis Horwood Series In Water And Waste Water Technology, England, 1993.
- ^{xxxiv} Geyer, R.A, *Marine Environment Pollution*, 2.Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1981.
- ^{xxxv} Nybakken, J.W, *Biologi Laut, Suatu Pendekatan Ekologis*, Gramedia, Jakarta, 1992.Lampiran 13. Foto Penelitian L13.1.



Gambar. Lokasi TPA Jatibarang Semarang



Gambar. Bendungan lindi TPA Jatibarang Semarang

L13.2.



Gambar. Bak penampung lindi



Gambar. Peneliti mengambil sampel lindi pada outlet

L13.3.



Gambar . Peneliti mengambil sampel sedimen aliran Sungai Kreo



Gambar. Penyebaran lindi pada aliran Sungai Kreo
