



TUGAS AKHIR - RE 184804

**KAJIAN SPASIAL UNTUK PENENTUAN
METODE REMEDIASI TANAH TERCEMAR
LOGAM TIMBAL DI KECAMATAN JETIS,
KABUPATEN MOJOKERTO**

**ANANDA ALFAN MAULANA
03211540000108**

**DOSEN PEMBIMBING
Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, PhD
NIP. 197110818 199703 2 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**



TUGAS AKHIR - RE 184804

**KAJIAN SPASIAL UNTUK PENENTUAN
METODE REMEDIASI TANAH TERCEMAR
LOGAM TIMBAL DI KECAMATAN JETIS,
KABUPATEN MOJOKERTO**

**ANANDA ALFAN MAULANA
03211540000108**

**DOSEN PEMBIMBING
Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, PhD
NIP. 197110818 199703 2 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**



FINAL PROJECT - RE 184804

**SPATIAL STUDY FOR DETERMINING REMEDIATION
METHODS OF PLUMBUM POLLUTED SOILS IN
JETIS DISTRICT, MOJOKERTO DISTRICT**

ANANDA ALFAN MAULANA
03211540000108

SUPERVISOR
Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, PhD
NIP. 19710818 199703 2 001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil, Environment and Geo engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
SURABAYA 2019

LEMBAR PENGESAHAN

**KAJIAN SPASIAL UNTUK PENENTUAN METODE
REMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM TIMBAL DI
KECAMATAN JETIS, KABUPATEN MOJOKERTO**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memenuhi Gelar
Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ANANDA ALFAN MAULANA
NRP. 0321154000108

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir



Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19710818 199703 2 001



KAJIAN SPASIAL UNTUK PENENTUAN METODE REMEDIASI TANAH TERCEMAR LOGAM TIMBAL (Pb) DI KECAMATAN JETIS, KABUPATEN MOJOKERTO

Nama Mahasiswa : Ananda Alfian Maulana
NRP : 03211540000108
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, S.T.,M.T.,Ph.D

ABSTRAK

Peningkatan persentase pencemaran tanah wilayah desa di Provinsi Jawa Timur pada tahun 2011 hingga 2014 disebabkan oleh berbagai faktor. Salah satu faktor yang menyebabkan peningkatan persentase pencemaran tanah yaitu meningkatnya kegiatan industri pada wilayah desa yang membuat pertumbuhan dan aktifitas penduduk juga meningkat. Kecamatan Jetis merupakan salah satu wilayah yang padat akan kegiatan industri dimana terdapat ± 5 pabrik besar dengan kegiatan industri yang padat. Limbah dari sisa kegiatan industri tersebut terindikasi mencemari tanah disekitarnya. Penelitian terdahulu menyebutkan sebuah air sumur warga desa pada kecamatan jetis yaitu desa Lakardowo memiliki konsentrasi logam berat Pb, Fe, dan Mn yang melebihi baku mutu. Logam Pb merupakan logam berat yang terbilang *universal* dari segi sumber karena dapat ditemukan dari berbagai sumber seperti industri pelapisan logam, industri besi baja, industri listrik, industri penampungan limbah B3, buangan gas kendaraan bermotor, dan aktifitas domestik warga.

Terdapat 2 aspek dalam penelitian kali ini, yaitu aspek teknis dalam pembuatan peta persebaran logam Pb dalam tanah di Kecamatan Jetis dengan penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan aspek penyusunan pembiayaan teknologi remediasi tanah tercemar logam Pb. Dalam pembuatan peta persebaran logam Pb , dibutuhkan data konsentrasi logam Pb dalam tanah diseluruh wilayah Kecamatan Jetis. Data konsentrasi tersebut diperoleh dari hasil analisa laboratorium. Dengan menggunakan metode *transect* dengan jarak 1 km x 1 km, yang disebar rata keseluruh wilayah Kecamatan diperoleh 63 titik pengambilan sampel tanah. Pada tiap titik sampel tersebut akan diambil

menggunakan *Ring Sampling* sedalam 20 cm kedalam tanah. Tanah pada setiap titik sampel akan diekstrak terlebih dahulu sebelum dianalisis. Metode ekstraksi menggunakan metode pencernaan asam (*Wet-Digestion*) dan pengekstrakan EDTA. Setelah diekstraksi, sampel selanjutnya akan dianalisis menggunakan metode AAS (*Atomic Absorp Spectrophotometry*) untuk memperoleh konsentrasi logam Pb pada tiap titik sampel.

Hasil analisa laboratorium menunjukkan dari 63 titik sampel, titik sampel dengan konsentrasi tertinggi berada pada titik sampel 52 dengan konsentrasi 80,59 mg/kg, sedangkan konsentrasi terendah yaitu pada titik sampel 7 dengan konsentrasi sebesar 3,13 mg/kg. Hasil analisa konsentrasi logam Pb pada tiap titik akan dibuatkan Peta Persebaran Konsentrasi Logam Pb dalam Tanah di Kecamatan Jetis dengan menggunakan perangkat lunak *ArcGIS*. Persebaran konsentrasi logam timbal pada Kecamatan Jetis terbilang menyeluruh dengan konsentrasi yang berfluktuatif dikarenakan banyaknya sumber kontaminan logam berat timbal (Pb). Terdapat 3 Kelurahan yang akan diremediasi yaitu Penompo, Canggung dan Mlirip dengan menggunakan 2 metode yaitu *enhanced bioremediation* dengan *biochar* dan fitoremediasi dengan tanaman bayam cabut. Biaya yang harus diinvestasikan untuk masing-masing metode adalah Rp 1,356,222,400 untuk *biochar* dan Rp 10,887,871,000 untuk fitoremediasi.

Kata Kunci : Konsentrasi logam Pb, Logam Pb, Peta Persebaran, Remediasi, Rancangan Biaya.

SPATIAL STUDY FOR DETERMINING REMEDIATION METHODS OF PLUMBUM POLUTED SOILS IN JETIS SUB-DISTRICT, MOJOKERTO DISTRICT

Student's Name : Ananda Alfana Maulana
Student's ID : 03211540000108
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu, S.T.,M.T.,Ph.D

ABSTRACT

The increase in the percentage of land pollution in rural areas in East Java Province in 2011 to 2014 was caused by various factors. One of the factors that led to an increase in the percentage of land pollution was the increase in industrial activities in rural areas which made population growth and activity also increase. Jetis Subdistrict is one of the densely populated areas of industrial activity where there are ± 5 large factories with dense industrial activities. Waste from the remaining industrial activities is indicated to contaminate the surrounding soil. Previous research stated that a village well water in the jetis sub-district, Lakardowo village had concentrations of heavy metals Pb, Fe, and Mn which exceeded the quality standard. Pb metal is a heavy metal that is fairly universal in terms of its source because it can be found from various sources such as the metal coating industry, steel industry, electricity industry, B3 waste storage industry, motorized vehicle exhaust and domestic activities.

There are 2 aspects in this study, namely the technical aspects of making a map of the distribution of Pb metal in soil in Jetis Subdistrict with the application of Geographic Information Systems (GIS) and financing aspects of the preparation of Pb metal contaminated soil remediation technology. In making the Pb metal distribution map, Pb metal concentration data is needed in the soil throughout the Jetis District area. The concentration data is obtained from the results of laboratory analysis. By using the transect method with a distance of 1 km x 1 km, which was spread evenly throughout the District, 63 points of soil sampling were obtained. At each point the sample will be taken using a Ring Sampling as deep as 20 cm into the ground. The soil at each

sample point will be extracted first before being analyzed. The extraction method uses the Wet Digestion method and EDTA extraction. After extraction, the next sample will be analyzed using the AAS (Atomic Absorp Spectrophotometry) method to obtain Pb metal concentrations at each sample point.

The results of laboratory analysis showed that from 63 sample points, the highest sample concentrations were at sample point 52 with a concentration of 80.59 mg / kg, while the lowest concentration was at sample point 7 with a concentration of 3.13 mg / kg. The results of the analysis of Pb metal concentration at each point will be made a Map of the Distribution of Pb Metal Concentrations in Soil in Jetis Subdistrict using ArcGIS software. The distribution of lead metal concentration in Jetis Subdistrict is fairly comprehensive with fluctuating concentrations due to the many sources of lead (Pb) heavy metal contaminants. There are 3 villages that will be remediated, namely Penompo, Canggung and Mlirip using 2 methods, namely enhanced bioremediation with biochar and phytoremediation with spinach spinach plants. The costs to be invested for each method are Rp 1,356,222,400 for biochar and Rp 10,887,871,000 for phytoremediation.

Key Words : **Budget Planning, Map of Distribution, Pb Concentration, Pb Metals, Remediation.**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Kajian Spasial Untuk Penentuan Metode Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto”. Tugas Akhir ini disusun dalam rangka memenuhi penyelesaian Program Sarjana Departemen Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama penyusunan Tugas Akhir ini penulis telah banyak mendapat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST.,MT.,Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan nasehat, arahan, pemikiran dan bimbingan yang tulus selama masa studi dan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Harmin Sulistyoning Titah, ST.,MT.,Ph.D. ; Bapak Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT. ; dan Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc. selaku dosen pengarah yang selalu memberi masukan dan saran dalam penyusunan Tugas Akhir.
3. Teman-teman Teknik Lingkungan Angkatan 2015 yang senantiasa menemani selama masa studi dan pengumpulan data untuk penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis tidak lupa juga berterimakasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua dan kakak yang selalu mendukung dan mendoakan untuk kelancaran studi dan pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Namun, Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi pengetahuan baru dan bermanfaat bagi semua pihak.

Hormat,

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pencemaran Tanah	5
2.2 Logam Berat Sebagai Pencemar	6
2.3 Timbal (Pb)	8
2.4 Mekanisme Kontaminasi Logam Berat pada Tanah	11
2.5 Sistem Informasi Geografis (SIG)	13
2.6 Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat	18
2.7 Gambaran Umum Wilayah Penelitian	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1 Umum	25
3.2 Ide Penelitian	25
3.3 Waktu Penelitian	26
3.4 Alat dan Bahan	26
3.5 Kerangka Penelitian	27
3.6 Tahapan Penelitian	30

3.6.1 Studi Literatur	30
3.6.2 Perizinan	31
3.6.3 Pengambilan Sampel (<i>Sampling</i>)	32
3.6.4 Preparasi Sampel	35
3.6.5 Analisa Sampel.....	37
3.6.6 Hasil dan Pembahasan.....	39
3.7 Kesimpulan dan Saran	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Pembuatan Peta Persebaran Logam Timbal (Pb)	45
4.1.1 Pembuatan Peta Transek.....	45
4.1.2 Pengambilan Sampel (<i>Sampling</i>)	49
4.1.3 Ekstraksi Sampel Tanah (<i>Soil Extraction</i>)	58
4.1.4 Pembuatan Peta Persebaran Logam Timbal (Pb). ...	75
4.2 Pembuatan Model Dispersi Pencemaran Logam Timbal (Pb) dalam Tanah.....	83
4.2.1 Identifikasi Jenis Tanah Kecamatan Jetis	84
4.2.2 Penjabaran Teori Rumus Adveksi-Difusi.....	86
4.2.3 Pembuatan Model Dispersi Pencemaran Logam Timbal (Pb)	93
4.3 Penentuan Metode Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb)	97
4.3.1 <i>Screening Matrix</i> Metode Remediasi Berdasarkan Unsur	98
4.3.2 <i>Screening Matrix</i> Metode Remediasi Berdasarkan Kapabilitas <i>Treatment</i>	102
4.3.3 <i>Screening Matrix</i> Metode Remediasi Untuk Logam Timbal (Pb)	104
4.3.4 Penentuan Kawasan Remediasi dan Metode Remediasinya	107

4.4 Penyusunan RAB (Rencana Anggaran Biaya) Metode Remediasi	115
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	121
5.1 Kesimpulan.....	121
5.2 Saran	122
DAFTAR PUSTAKA	123
LAMPIRAN A.....	133
LAMPIRAN B.....	137
LAMPIRAN C.....	139
LAMPIRAN D.....	141
LAMPIRAN E	143
LAMPIRAN F	144
LAMPIRAN G	147
LAMPIRAN H.....	153
LAMPIRAN I	155
BIOGRAFI PENULIS	159

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat-sifat Fisika Timbal (Pb)	9
Tabel 2.2 Batas Kandungan Logam Berat Dalam Tanah	10
Tabel 3.1 Hasil Penelitian Pendahuluan.	31
Tabel 3.2 Nilai Baku Mutu Maksimum Konsentrasi Logam Berat pada Tanah.	39
Tabel 3.3 Estimasi Biaya Alternatif Teknologi Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat.	43
Tabel 4.1 Karakteristik Sampel Tanah	51
Tabel 4.2 Konsentrasi (<i>Bio-Availability</i>) Logam Timbal (Pb).....	60
Tabel 4.3 Total Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb).	67
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Konsentrasi Logam Timbal (Pb) ..	73
Tabel 4.5 Nilai Baku Karakteristik Beracun dan Total Konsentrasi Untuk Penetapan Pengelolaan Tanah Terkontaminasi Limbah Berbahaya dan Beracun	81
Tabel 4.6 Hasil Per` hitungan Teori Adveksi-Difusi Kondisi 1	89
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Teori Adveksi-Difusi Kondisi 2	91
Tabel 4.8 Metode Remediasi dalam Treatment Technologies Screening Matrix.	99
Tabel 4.9 Hasil <i>Screening Matrix</i> Metode Remediasi Berdasarkan Unsur.....	101
Tabel 4.10 Hasil <i>Screening Matrix</i> Berdasarkan Kapabilitas Treatment.....	103
Tabel 4.11 Hasil <i>Screening Matrix</i> Metode Remediasi Untuk Logam Timbal (Pb).....	106
Tabel 4.12 Nilai Aspek Tiap Kelurahan Di Kecamatan Jetis	111
Tabel 4.13 RAB Penerapan Metode Remediasi <i>Biochar</i>	117
Tabel 4.14 RAB Penerapan Metode Remediasi Fitoremediasi..	119

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Logam Berat Pb.....	8
Gambar 2.2 Mekanisme Kontaminasi Logam dalam Tanah	12
Gambar 2.3 Model Data Vektor.....	16
Gambar 2.4 Model Data Raster	17
Gambar 2.5 Peta Hasil Penerapan Sistem Informasi Geografis Kabupaten Mojokerto	18
Gambar 2.6 Mekanisme Remediasi Teknologi Vitrifikasi.....	19
Gambar 2.7 Mekanisme Remediasi Teknologi Landfilling	20
Gambar 2.8 Mekanisme Remediasi Teknologi Elektrokinetik.....	21
Gambar 2.9 Teknologi Bioremediasi : Fitoremediasi	22
Gambar 2.10 Peta Kabupaten Mojokerto.....	23
Gambar 2.11 Peta Kecamatan Jetis	24
Gambar 2.12 Lokasi Industri Besar.....	24
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	30
Gambar 3.2 Peta Kecamatan Jetis Transect Area 1 km x 1 km.	32
Gambar 3.3 Alat Ring Sampel Tanah	33
Gambar 3.4 Tahapan Pengambilan Sampel Tanah dengan Alat Ring Sampel.....	34
Gambar 3.5 Bubuk EDTANA	35
Gambar 3.7 Pelarut Aqua Regia.	36
Gambar 3.8 Prinsip Kerja Metode AAS.....	38
Gambar 3.9 Contoh Peta Persebaran.....	41
Gambar 4.1 Flow Chart Pembuatan Peta Persebaran Logam Timbal.....	45
Gambar 4.2 Peta Kecamatan Jetis Transek 1 kmx 1 km.....	47
Gambar 4.3 <i>Google Maps dan UTM Geo Map.</i>	49
Gambar 4.4 Kegiatan Pengambilan Sampel	50
Gambar 4.5 Tingkat Intensitas Cahaya.....	58
Gambar 4.6 Tingkat Kelembaban	58
Gambar 4.7 Peta Persebaran Logam Timbal (Pb) di Kecamatan Jetis.....	77
Gambar 4.8 Flow Chart Pengerjaan Pembuatan Model Dispersi Pencemaran Logam Timbal (Pb) dalam Tanah.....	83

Gambar 4.9 Peta Persebaran Jenis Tanah Kecamatan Jetis	84
Gambar 4.10 Grafik Perhitungan Teori Adveksi-Difusi	87
Gambar 4.11 Titik Sampel Kondisi 1	87
Gambar 4.12 Dialog Interface Solver (Penetapan Variabel)	88
Gambar 4.13 Dialog Interface Solver (Penyelesaian)	88
Gambar 4.14 Grafik Teori Adveksi-Difusi Kondisi 1	89
Gambar 4.15 Titik Sampel Kondisi 2	90
Gambar 4.16 Grafik Teori Adveksi-Difusi Kondisi 2	91
Gambar 4.17 Interface Hydrus 1D.....	93
Gambar 4.18 Interface Hydrus 2D.....	93
Gambar 4.19 Peta Persebaran Logam Timbal (Pb) di Kecamatan Jetis (Iso-Sentris).	95
Gambar 4.20 Flow Chart Penentuan Metode Remediasi.....	97
Gambar 4.21 Peta Persebaran Logam Timbal (Pb) di Kecamatan Jetis dengan Kepadatan Penduduk	109
Gambar 4.22 Peta Wilayah Penerapan Metode Remediasi Di Kecamatan Jetis.....	115

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meninjau dari data Statistik Lingkungan Hidup Indonesia Tahun 2017 yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik, persentase desa yang mengalami pencemaran tanah di Indonesia khususnya Jawa Timur pada tahun 2011 adalah sebesar 1,19% dan pada tahun 2014 nilai persentase tersebut meningkat 0,03% menjadi 1,22%. Persentase ini terbilang kecil namun terjadi peningkatan disetiap tahunnya. Pencemaran tanah diakibatkan oleh banyak penyebab termasuk kegiatan manusia, laju transportasi, limbah industri, limbah pertambangan, residu pupuk dan pestisida hingga bekas instalasi senjata kimia. Bentuk pencemaran berupa berbagai unsur dan substansi kimia berbahaya (Anonym, 2011). Salah satu unsur dan substansi kimia berbahaya yang berpotensi terjadi adalah kontaminasi oleh logam berat. Kontaminasi oleh logam berat pada permukaan tanah maupun air tanah dapat menyebar ke daerah sekitarnya melalui air, angin, penyerapan oleh tumbuhan, dan bioakumulasi pada rantai makanan (Chaney, *et al.*, 1998).

Pada Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto merupakan kawasan industri dengan berbagai kegiatan industri seperti perusahaan pengolahan limbah B3, perusahaan penyedap rasa makanan, perusahaan pembuat frit keramik dan natrium silikat, pabrik pembuatan tepung, perusahaan pembuat besi & baja, dan perusahaan exportir furniture. Beragam kegiatan industri tersebut terindikasi mencemari tanah disekitarnya. Laila (2017) dalam penelitiannya menjelaskan air tanah pada Desa Lakardowo tercemar limbah B3 yang mengandung logam Pb, Fe, dan Mn yang melebihi baku mutu. Menurut Notohadiprawiro (1993) terdapat sembilan jenis logam berat yang dapat mencemari tanah yaitu Hg, Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, dan Zn. Connel dan Miller (1995) juga menerangkan kelompok logam berat dengan toksisitas tinggi adalah Hg, Cd, Pb, As, Cu, dan Zn, sedangkan Fe dan Mn merupakan logam dengan toksisitas rendah. Oleh karena itu, penelitian kali ini akan difokuskan kepada logam berat Pb.

Pb dapat ditemukan dari berbagai sumber, secara alami terdapat ditanah sekitar 5-25 mg/kg dan di air bawah tanah (*ground*

water) berkisar antara 1-60 µg/L. Industri yang berpotensi sebagai sumber pencemaran Pb adalah semua industri yang memakai Pb sebagai bahan baku maupun bahan penolong serta yang menghasilkan limbah dengan komposisi mengandung Pb seperti industri kimia, industri pemurnian, industri bahan bakar, dan industri pengolahan limbah B3. Hasil pembakaran dari bahan tambahan (*aditive*) pada bahan bakar kendaraan bermotor menghasilkan emisi Pb anorganik yang keluar dari knalpot bersama gas buang lainnya yaitu Hg, Cd, As, dan Cr ke udara lalu jatuh dan mengendap dalam tanah (Sudarmaji, 2006).

Untuk memperoleh solusi yang tepat guna menyelesaikan permasalahan ini dibutuhkan sebuah data atau informasi menyeluruh mengenai kondisi tanah serta persebaran logam berat yang mencemari tanah tersebut. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah kajian spasial berbentuk Sistem Informasi Geografis (SIG) berupa peta persebaran tanah tercemar logam Pb berdasarkan kondisi tanah dan konsentrasi logam Pb dalam tanah. Penggunaan teknologi SIG akan memberikan dampak yang positif dalam sistem pengelolaan informasi yang menyangkut masalah efisiensi dan efektifitas, komunikasi yang tepat dan terarah, serta data sebagai aset yang berharga (Briggs, 1999). Dengan adanya Sistem Informasi Geografis berupa peta persebaran akan memudahkan peneliti dalam menentukan metode remediasi yang tepat untuk kawasan mana saja yang harus dilakukan remediasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka masalah dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapa konsentrasi Pb dalam tanah di Kecamatan Jetis ?
2. Bagaimana sebaran Pb dalam tanah di Kecamatan Jetis ?
3. Apa metode remediasi yang tepat untuk menyelesaikan masalah pencemaran tanah oleh Pb ?
4. Berapa biaya yang harus dikeluarkan untuk merealisasikan metode remediasi yang terpilih ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat peta sebaran Pb di dalam tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.
2. Menghitung dispersi pencemaran Pb di dalam tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.
3. Menentukan metode remediasi yang tepat guna menyelesaikan masalah pencemaran tanah oleh Pb.
4. Menghitung dan menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang harus diinvestasikan untuk metode remediasi yang telah dipilih.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan informasi mengenai konsentrasi logam Pb pada Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.
2. Mendapatkan informasi berupa peta persebaran logam Pb pada Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.
3. Mengetahui metode remediasi yang tepat untuk pencemaran tanah oleh Pb.
4. Mengetahui jumlah pembiayaan yang harus diinvestasikan untuk metode remediasi tersebut.
5. Menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan Februari 2019 hingga Mei 2019.
2. Pengekstraksian sampel dan pengukuran konsentrasi Pb dalam sampel dilakukan di Laboratorium Environmental Chemical Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia.
3. Aspek yang diteliti pada penelitian ini adalah Aspek Teknis (Pembuatan Peta) dan Aspek Pembiayaan (Metode Remediasi).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Tanah

Menurut Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup No.02/MENKLH/I/1998 yang dimaksud dengan polusi atau pencemaran tanah adalah masuk dan dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam tanah dan atau berubahnya tatanan (komposisi) oleh kegiatan manusia atau proses alam, sehingga kualitas tanah menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan tanah menjadi kurang atau tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

Pencemaran tanah adalah keadaan dimana bahan kimia buatan manusia masuk dan merubah lingkungan tanah alami. Tanah merupakan bagian penting dalam menunjang kehidupan makhluk hidup di muka bumi. Pencemaran tanah biasanya terjadi karena kebocoran limbah cair atau bahan kimia industri atau fasilitas komersial, penggunaan pestisida, masuknya air permukaan tanah tercemar kedalam lapisan sub-permukaan, zat kimia, atau air limbah dari tempat penimbunan sampah serta limbah industri yang langsung dibuang ke tanah secara tidak memenuhi syarat (Anonym, 2012).

Limbah yang biasa mengandung logam berat berasal dari pabrik kimia, listrik dan elektronik, logam dan penyepuhan elektro (*electroplating*), kulit, metalurgi, dan cat serta bahan pewarna. Limbah padat dari permukiman juga mengandung logam berat (Yong et al., 1992). Akumulasi logam yang ada pada tanah yang dapat mengakibatkan penurunan aktivitas mikroba tanah, kesuburan tanah, dan kualitas tanah secara keseluruhan, dan penurunan hasil dan masuknya bahan beracun ke rantai makanan (Kurnia et al., 2009). Tanah dan air merupakan dua komponen yang menjadi sasaran pencemaran, bila tanah dan air tercemar logam berat maka logam berat akan masuk ke dalam rantai makanan dan membentuk jaring-jaring makanan dan akhirnya menuju kepada manusia sebagai konsumen universal sehingga menimbulkan berbagai macam penyakit pada manusia khususnya gangguan pada sistem syaraf (Sudarmaji, 2006).

2.2 Logam Berat Sebagai Pencemar

Dalam kadar rendah logam berat pada umumnya sudah beracun bagi udara, air, tanah, tumbuhan, hewan dan manusia. Termasuk logam berat yang sering mencemari habitat ialah Hg, Cr, Cd, As, dan Pb (American Geological Institute, 1973). Menurut Connel dan Miller (1995) logam berat memiliki karakter seperti berkilau, lunak atau dapat ditempa, mempunyai daya hantar panas dan listrik yang tinggi dan bersifat kimiawi, yaitu sebagai dasar pembentukan reaksi dengan asam.

Bahan berbahaya dan beracun (B3) adalah zat, energi, dan/atau komponen lain yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusak lingkungan hidup, dan/atau membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, serta kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lain (UU. Republik Indonesia No.32 tahun 2009). Logam berat termasuk kedalam B3 yang didefinisikan sebagai suatu kesatuan logam yang mempunyai bobot molekul dan berat jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 dengan nomor atom antara 22 dan 29 periode III dan IV (Anonym, 1977). Menurut Duffus (2002) logam berat didefinisikan dengan mempunyai berat jenis lebih besar $3,5 \text{ gr/cm}^3$ dan bahkan ada yang sampai 7 gr/cm^3 . Namun istilah logam berat ada yang tidak setuju kalau dilihat pada kerapatan berat/berat jenis, karena kerapatan logam tidak ada hubungannya dengan efek logam tersebut terhadap tanaman. Jadi logam berat harus didefinisikan dalam kaitannya dengan posisi dari elemen dalam tabel periodik, karena posisi ini berkaitan dengan sifat-sifat senyawa kimia senyawa termasuk elemennya (Appenroth 2010). Jenis logam berat diketahui >70 unsur, beberapa diantaranya perlu mendapat perhatian khusus, yaitu Hg, Pb, Cr, Co, Mo, Mn, dan Ni karena mudah terkontaminasi pada tanah dan tanaman (Piotrowski dan Coleman 1980).

Logam berat secara alami ditemukan pada batu-batuan dan mineral lainnya, maka dari itu logam berat secara normal merupakan unsur dari tanah, sedimen, air, dan organisme hidup yang akan menyebabkan pencemaran bila konsentrasinya telah melebihi batas normal. Jadi konsentrasi relatif logam dalam media adalah hal yang paling penting (Alloway *et al.*, 1997).

Notohadriprawiro (1993) mengatakan bahwa logam berat dapat masuk kedalam lingkungan hidup karena:

1. Longgokan alami di dalam bumi tersingkap sehingga berada di permukaan bumi.
2. Pelapukan batuan yang mengandung logam berat yang melonggokan logam berat secara residual di dalam saprolit dan selanjutnya berada di dalam tanah.
3. Penggunaan bahan alami untuk pupuk atau pembenah tanah (*soil conditioner*).
4. Pembuangan sisa dan limbah pabrik serta sampah.

Tanah secara alamiah mengandung logam berat, sebagian logam berat tersebut berperan dalam proses fisiologis tanaman seperti Fe, Cu, dan Zn tetapi dengan jumlah yang relatif sangat sedikit, bila berlebih akan memberikan efek toksisitas kepada tanaman. Ni dan Cd dalam jumlah sekelumit diduga menjalankan peran fisiologi penting dalam tumbuhan, namun dalam jumlah banyak akan beracun. Cr sangat beracun bagi tumbuhan dikarenakan peranannya sebagai unsur hara belum diketahui. Akan tetapi unsur ini perlu bagi manusia dan hewan menyusui karena berperan serta dalam metabolisme glukosa. Peran Pb sebagai hara tumbuhan juga belum diketahui. Unsur ini merupakan kimiawi utama terhadap lingkungan, dan sangat beracun bagi tumbuhan, hewan, dan manusia (Mengel dan Kirkby, 1987).

Logam Cu, Zn, Cd, dan Pb merupakan bahan pencemar tanah. Sumber bahan pencemar tanah dapat dipilah menjadi dua, yakni bahan anorganik dan bahan organik. Bahan anorganik terutama logam berat seperti Zn, Cu, Pb, dan Ar. Bahan-bahan tersebut cenderung berada di dalam tanah dalam waktu yang lama, meskipun status kimianya kemungkinan berubah menurut waktu (Erfandi, 2014).

Berbagai sumber dan penyebab pencemaran yang dapat mengakibatkan mundurnya kualitas tanah di antaranya penggunaan bahan-bahan agrokimia, limbah industri, kegiatan pertambangan dan limbah rumah tangga. Dengan mengetahui sumber dan penyebab pencemaran terutama yang terjadi pada lahan pertanian, maka upaya pencegahan dan penanggulangannya dapat diterapkan secara lebih tepat dan terarah (Erfandi, 2014).

2.3 Timbal (Pb)

Timbal atau *plumbum* (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat yang sering juga disebut dengan istilah timah hitam. Timbal memiliki titik lebur yang rendah, mudah dibentuk, memiliki sifat kimia yang aktif sehingga biasa digunakan untuk melapisi logam agar tidak timbul perkaratan. Timbal adalah logam yang lunak berwarna abu-abu kebiruan mengkilat dan memiliki bilangan oksidasi +2 (Sunarya, 2007).

Timbal mempunyai nomor atom 82 dengan berat atom 207,20. Titik leleh timbal adalah 1740 0C dan memiliki massa jenis 11,34 g/cm³ (Widowati, 2008). Palar (1994) mengungkapkan bahwa logam Pb pada suhu 500-600 0C dapat menguap dan membentuk oksigen di udara dalam bentuk timbal oksida (PbO). Gambar 2.1 menunjukkan wujud dari logam Pb.



Gambar 2.1 Logam Berat Pb

Sumber : <http://mychemistryblogg.blogspot.com/2012/12/logam-berattimbalpb.html>

Tabel 2.1 berikut menunjukkan beberapa sifat fisika yang dimiliki timbal.

Tabel 2.1 Sifat-sifat Fisika Timbal (Pb)

Sifat Fisika Timbal	Keterangan	Satuan
Nomor Atom	82	
Densitas	11,34	g/cm ³
Titik Lebur	327,64	°C
Titik Didih	1.749	°C
Kalor Peleburan	4,77	kJ/mol
Kalor Penguapan	179,5	kJ/mol
Kapasitas pada 25°C	26,65	J/mol.K
Konduktivitas Termal pada 300K	35,5	W/m K
Ekspansi Termal 25°C	28,9	µm/m K
Kekerasan	38,6	Skala Brinell = Mpa

Sumber : Sunarya, 2007

Timbal merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup karena bersifat karsinogenik, dapat menyebabkan mutasi, terurai dalam jangka waktu lama dan toksisitasnya tidak berubah (Brass dan Strauss, 1981). Pb dapat mencemari udara, air, tanah, tumbuhan, hewan, bahkan manusia. Masuknya Pb ke tubuh manusia dapat melalui makanan dari tumbuhan yang biasa dikonsumsi manusia seperti padi, teh dan sayur-sayuran.

Timbal secara alami terdapat sebagai timbal sulfida, timbal karbonat, timbal sulfat dan timbal klorofosfat (Faust dan Aly, 1981). Kandungan Pb dari beberapa batuan kerak bumi sangat beragam. Batuan erusif seperti granit dan riolit memiliki kandungan Pb kurang lebih 200 ppm. Beberapa tanah telah ditemukan memiliki beberapa kandungan Pb yang merupakan racun bagi tanaman dan tumbuhan liar, jumlahnya sangat tinggi karena logam berat tersebut tersebut merupakan elemen utama (Krishnamurti et al.,

1995). Dibawah ini merupakan ambang batas kandungan timbal dalam tanah.

Tabel 2.2 Batas Kandungan Logam Berat Dalam Tanah

Logam Berat	Batas Minimum (ppm)	Batas Maksimum (ppm)
As	0,1	4,0
B	2	100
F	30	300
Cd	0,1	0,7
Mn	100	400
Ni	10	1000
Zn	10	300
Cu	2	100
Pb	2	200

Sumber : Pickering, 1980

Timbal dalam tanah dapat berasal dari berbagai sumber. Pada bidang pertanian, 10% pestisida mengandung logam berat Cu, Hg, Mn, Pb, atau Zn. Sebagai contoh pestisida seperti fungisida yang mengandung tembaga seperti campuran *Bordeux* (tembaga sulfat) dan tembaga oksiklorida, serta timbal arsenat yang digunakan selama bertahun-tahun untuk mengendalikan beberapa serangga parasit (Jones dan Jarvis, 1981). Penerapan berbagai bahan organik misalnya pupuk kandang, kompos, dan sampah/limbah kota secara tidak langsung berkontribusi pada akumulasi logam berat dalam tanah. Contoh logam berat tersebut adalah As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Mo, Zn, Tl, Sb, dan sebagainya (Basta et al. 2005). Penerapan limbah organik (biosolid) yang berlanjut, dapat menyebabkan terjadinya kontaminasi logam berat terhadap tanah. Logam berat yang paling umum ditemukan di biosolid adalah Pb, Ni, Cd, Cr, Cu, Zn, dan konsentrasi logam berat tergantung dari intensitas kegiatan industri. Penerapan biosolid dalam tanah dapat tercuci masuk ke dalam profil tanah dan memiliki potensi untuk mencemari air tanah (Mclaren et al., 2005).

Menurut Mulyadi et al. (2010) tanah sawah di wilayah DAS Dolo hilir telah tercemar Pb. Air irigasi limbah pabrik kertas yang digunakan untuk pengairan telah mencemari tanah dengan Cu, Pb,

dan Cd (Sutrisno dan Mulyadi, 2008). Kandungan logam yang tinggi dijumpai di air dan sedimen kolong atau danau bekas tambang antara lain Fe, Al, Pb, Zu, Cd, Zn, dan Cu (Shevenell et al. 1999; Eary 1999). Pada areal bekas tambang timah di Bangka yang berbentuk kolong, memiliki kandungan logam seperti Pb, Fe, As, Al, dan Zn yang melebihi baku mutu air bersih (Heny dan Susanti, 2009). Begitu juga menurut Kurniawan (2013) bahwa air laut di pesisir Kabupaten Bangka telah tercemar logam Pb, Cd dan Cr yang cukup tinggi.

Timbal juga dapat berasal dari limbah B3. Berdasarkan daftar limbah dari sumber yang spesifik yang terdapat dalam lampiran PP No.18 Tahun 1999, beberapa jenis usaha/industri dapat menghasilkan suatu hasil sampingan dari kegiatan-kegiatan yang dilakukan. Hasil simpangan tersebut yang dikategorikan sebagai limbah B3 dan berpotensi untuk mencemari lingkungan dan juga membahayakan kesehatan manusia. Beberapa hasil sampingan tersebut berupa logam berat. Logam berat yang termasuk dalam kategori limbah B3 adalah Ar, Hg, Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, Cr, Ba, Ag, Se, Co, dan lain-lain. Pb banyak digunakan dalam berbagai industri seperti industri elektronik, industri besi dan baja, industri pelapisan logam dan juga merupakan buangan dari alat transportasi yang menggunakan bahan bakar (Anonym, 2010).

2.4 Mekanisme Kontaminasi Logam Berat

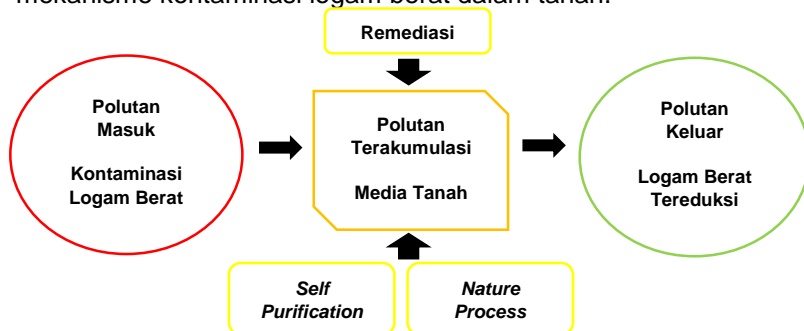
A. Kontaminasi Pada Tanah

Logam berat sama seperti jenis polutan lainnya tentunya juga dapat mengkontaminasi media yang dilaluinya seperti tanah, air, dan udara. Logam berat ini nantinya akan terakumulasi dari berbagai sumber pada suatu media tertentu (Mulyadi *et al.*, 2010).

Lapisan permukaan tanah merupakan penerima dari berbagai macam polutan terutama logam berat dan dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui kualitas lingkungan hidup (Lu, dkk., 2010). Dalam aktivitasnya manusia selalu berinteraksi dengan tanah. Sebagian sumber air masyarakat adalah sumur gali. Apabila tanah sudah tercemar maka dapat mencemari air sumur. Dengan mengkonsumsi air tercemar, maka zat pencemar dapat mengendap dalam tubuh. Logam berat seperti timbal (Pb), cadmium (Cd), tembaga (Cu) dan zink (Zn) merupakan

logam berat yang terkandung dalam asap kendaraan bermotor. Logam ini merupakan bahan pencemar tanah, termasuk dalam bahan anorganik dan cenderung berada dalam tanah dalam waktu yang lama (Hanafiah, 2005).

Kontaminasi logam berat pada tanah jika tidak berkurang atau dikurangi nantinya akan mencemari tanah. Tanah dalam sifatnya dapat mereduksi kontaminasi logam berat dengan proses *self purification* oleh tanah berupa difusi dan adveksi tanah dan juga *nature process* berupa penyerapan oleh tanaman, erosi, dan juga penguapan (volatilisasi) (Heny dan Susanti, 2009). Heny dan Susanti (2009) juga menambahkan, selain dari proses *self purification*, reduksi kontaminasi polutan dalam tanah dapat dilakukan dengan *outsourse processing* berupa tindakan remediasi. Pada Gambar 2.2 berikut akan digambarkan mekanisme kontaminasi logam berat dalam tanah.



Gambar 2.2 Mekanisme Kontaminasi Logam Berat dalam Tanah

B. Kontaminasi Pada Udara

Logam timbal (Pb) selain pada tanah, dapat terkontaminasi juga melalui udara. Kontaminasi logam timbal (Pb) di udara merupakan kontaminasi dalam fase gas. Gusnita (2012) dalam penelitiannya menerangkan bahwa logam timbal (Pb) yang terkontaminasi didalam udara dapat berasal dari berbagai sumber seperti asap yang keluar dari kendaraan bermotor akibat pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar yang digunakan. Selain dari kendaraan bermotor, asap yang keluar dari cerobong

asap pabrik-pabrik industri juga menjadi sumber kontaminan logam timbal (Pb) di udara. Logam timbal (Pb) yang sering ditemukan di udara adalah logam timbal dengan bentuk Pb^{2+} dan Pb^{3+} yang akan terikat dengan oksigen bebas di udara dan membentuk timbal oksida yang pada akhirnya akan jatuh kepermukaan tanah.

C. Kontaminasi Pada Air

Selain pada tanah dan udara, kontaminasi logam timbal (Pb) juga dapat terjadi pada badan air seperti air tanah dan air permukaan. Kontaminasi logam timbal (Pb) pada badan air merupakan kontaminasi pada fase cair (*liquid*). McCabe (1950), dalam bukunya menjelaskan bahwa sumber kontaminan dominan logam timbal (Pb) pada badan air dan air tanah adalah limbah cair hasil kegiatan domestik warga sekitar seperti penggunaan deterjen yang berlebihan dan juga air buangan kegiatan MCK (Mandi, Cuci, Kakus). Limbah cair yang mengandung logam timbal mayoritas langsung menuju badan air seperti sungai dan danau, dan sebagian lainnya mengenai permukaan tanah masuk kedalam pori-pori tanah yang pada akhirnya terus mengendap sampai mengenai air tanah (*aquifer*).

2.5 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem informasi berbasis komputer untuk menyimpan, mengelola dan menganalisis, serta memanggil data bereferensi geografis yang berkembang. Manfaat dari SIG adalah memberikan kemudahan kepada para pengguna atau para pengambil keputusan untuk menentukan kebijaksanaan yang akan diambil, khususnya yang berkaitan dengan aspek keruangan(spasial). Dengan adanya teknologi ini maka akan memudahkan dalam hal pemetaan lahan. Dalam pengaplikasian Geographic information system (GIS) menggunakan perangkat lunak ArcGIS yang merupakan salah satu perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yang terkemuka (Wibowo, 2015)

Menurut Prahasta (2002) SIG adalah sistem komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, memeriksa,

mengintegrasikan, dan menganalisa informasi-informasi yang berhubungan dengan permukaan bumi. Pada dasarnya, istilah sistem informasi geografi merupakan gabungan dari tiga unsur pokok yaitu sistem, informasi, dan geografi. Dengan demikian, pengertian terhadap ketiga unsur-unsur pokok ini akan sangat membantu dalam memahami SIG. SIG merupakan suatu sistem yang menekankan pada unsur informasi geografi. Istilah “geografis” merupakan bagian dari spasial (keruangan). Kedua istilah ini sering digunakan secara bergantian atau tertukar hingga timbul istilah yang ketiga, geospasial. Ketiga istilah ini mengandung pengertian yang sama di dalam konteks SIG. Penggunaan kata “geografis” mengandung pengertian suatu persoalan mengenai bumi: permukaan dua atau tiga dimensi. Istilah “informasi geografis” mengandung pengertian informasi mengenai tempat-tempat yang terletak di permukaan bumi, pengetahuan mengenai posisi dimana suatu objek terletak di permukaan bumi, dan informasi mengenai keterangan-keterangan (atribut) yang terdapat di permukaan bumi yang posisinya diberikan atau diketahui.

Menurut DeMers (2003) aspek-aspek dalam SIG adalah sebagai berikut:

A. Karakteristik :

1. SIG memiliki sub sistem input data yang menampung dan dapat mengolah data spasial dari berbagai sumber. Sub sistem ini juga berisi proses transformasi data spasial yang berbeda jenisnya, misalnya dari peta kontur menjadi titik ketinggian.
2. SIG mempunyai subsistem penyimpanan dan pemanggilan data yang memungkinkan data spasial untuk dipanggil, diedit, dan diperbaharui.
3. SIG memiliki subsistem manipulasi dan analisis data yang menyajikan peran data, pengelompokan dan pemisahan, estimasi parameter dan hambatan, serta fungsi permodelan.
4. SIG mempunyai subsistem pelaporan yang menyajikan seluruh atau sebagian dari basis data dalam bentuk tabel, grafis dan peta.

B. Subsistem :

1. Data Input: Subsistem ini bertugas untuk mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan data atribut dari berbagai sumber. Subsistem ini pula yang bertanggung jawab dalam mengkonversi atau mentransformasi format data aslinya ke dalam format yang digunakan oleh SIG.
2. Data Output: Subsistem ini menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basis data baik dalam bentuk softcopy maupun bentuk hardcopy seperti: tabel, grafik, peta dan lain-lain.
3. Data Management: Subsistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun atribut ke dalam sebuah basis data sedemikian rupa sehingga mudah dipanggil, dan diedit.
4. Data Manipulasi dan Analisis: Subsistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. Selain itu, subsistem ini juga melakukan manipulasi dan permodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

C. Komponen :

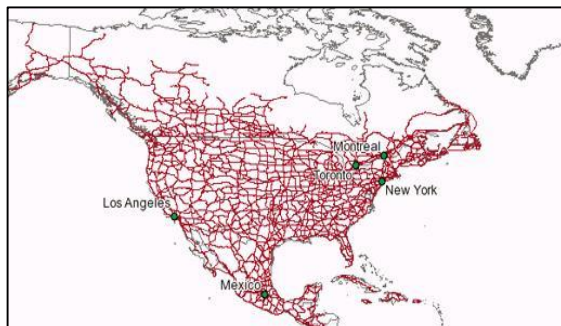
1. Perangkat keras (Hardware): Pada saat ini SIG tersedia untuk berbagai platform perangkat keras mulai dari PC desktop, workstations, hingga multiuser host yang dapat digunakan oleh banyak orang secara bersamaan dalam jaringan komputer yang luas, berkemampuan tinggi, memiliki ruang penyimpanan (harddisk) yang besar, dan mempunyai kapasitas memori (RAM) yang besar.
2. Perangkat lunak (Software): Bila dipandang dari sisi lain, SIG juga merupakan sistem perangkat lunak yang tersusun secara modular dimana basis data memegang peranan kunci. Setiap subsistem diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak yang terdiri dari beberapa modul, hingga tidak mengherankan jika ada perangkat SIG yang terdiri dari ratusan modul program yang masing-masing dapat dieksekusi sendiri.
3. Data dan Informasi Geografi: SIG dapat mengumpulkan dan menyimpan data dan informasi yang diperlukan baik secara tidak langsung dengan cara mengimport-nya dari perangkat lunak SIG yang lain maupun secara langsung dengan cara mendigitasi data spasialnya dari peta dan

memasukkan data atributnya dari table-tabel dan laporan dengan menggunakan keyboard.

4. Manajemen: Suatu proyek SIG akan berhasil jika dimanage dengan baik dan dikerjakan oleh orang-orang memiliki keahlian yang tepat pada semua tingkatan.

D. Model Data Dalam SIG :

1. Data Spasial: Data spasial adalah data yang menyimpan kenampakan permukaan bumi, seperti jalan, sungai, dan lain-lain. Model data spasial dibedakan menjadi dua yaitu model data vektor dan model data raster. Model data vektor diwakili oleh simbol-simbol atau selanjutnya didalam SIG dikenal dengan feature, seperti feature titik (point), feature garis (line), dan feature area (surface). Model data raster merupakan data yang sangat sederhana, dimana setiap informasi disimpan dalam grid, yang berbentuk sebuah bidang. Grid tersebut disebut dengan pixel. Data yang disimpan dalam format in data hasil scanning, seperti citra satelit digital. Gambar 2.3 dan 2.4 menjelaskan contoh model data vektor dan *raster* secara berturui-turut.



Gambar 2.3 Model Data Vektor

Sumber :

<https://dennycharter.files.wordpress.com/2008/05/raster11.jpg>



Gambar 2.4 Model Data Raster

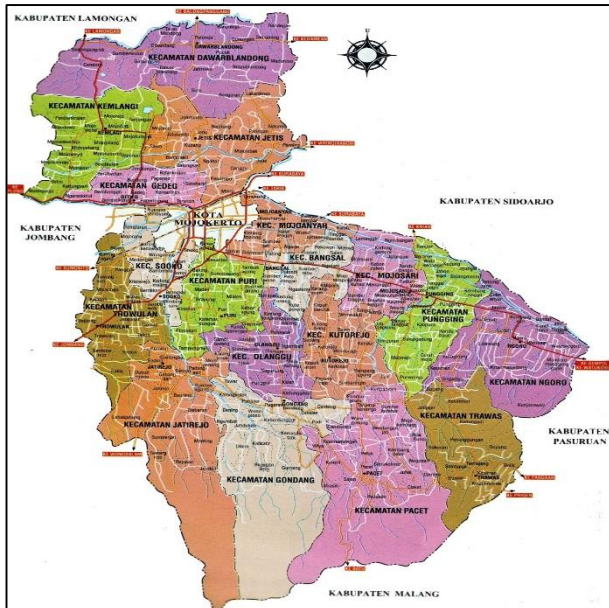
Sumber :

<https://dennycharter.files.wordpress.com/2008/05/raster21.jpg>

2. Data Non Spasial/Data Atribut: Data Non Spasial / data atribut adalah data yang menyimpan atribut dari kenampakan-kenampakan permukaan bumi.

Dengan SIG akan dimudahkan dalam melihat fenomena kebumihan dengan perspektif yang lebih baik. SIG mampu mengakomodasi penyimpanan, pemrosesan, dan penayangan data spasial digital bahkan integrasi data yang beragam, mulai dari citra satelit, foto udara, peta bahkan data statistik. Dengan tersedianya komputer dengan kecepatan dan kapasitas ruang penyimpanan besar seperti saat ini, SIG akan mampu memproses data dengan cepat dan akurat serta menampilkannya dengan optimal. SIG juga mengakomodasi dinamika data, pemutakhiran data yang akan menjadi lebih mudah (Wibowo, 2015).

Keluaran dari penerapan teknologi SIG ini adalah berupa sebuah peta. Peta yang disajikan lebih informatif, visualisasi informasi yang diinginkan akan sangat cepat dimengerti oleh pemakai peta tersebut. Penggunaan teknologi SIG dalam dunia pendidikan seringkali digunakan dalam membuat peta topografi untuk keperluan pengajaran. Untuk dunia keteknikan sendiri, teknologi SIG digunakan dalam membuat peta persebaran untuk keperluan studi spasial. Gambar 2.5 menunjukkan penerapan Sistem Informasi Geografis pada Kabupaten Mojokerto.



Gambar 2.5 Peta Hasil Penerapan Sistem Informasi Geografis Kabupaten Mojokerto

Sumber : <http://www.mojokertokab.go.id/thm/v1/?vi=geografis>

2.6 Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat

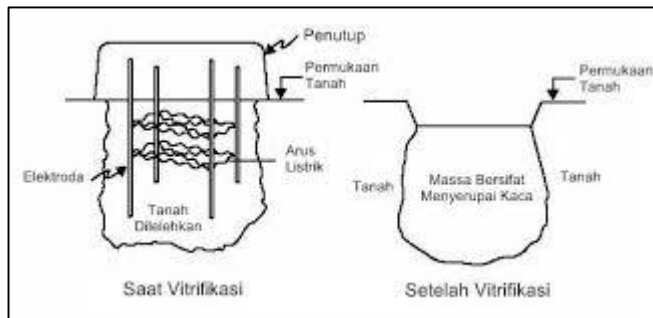
Lasat (2000) merangkum beberapa teknik yang telah diujicobakan dan diaplikasikan dalam remediasi tanah terkontaminasi logam berat, yaitu vitrifikasi, *landfilling*, elektrokinetik, dan biologi (*bioremediation*). Berikut akan dijabarkan teknik-teknik remediasi tersebut.

A. Vitrifikasi.

Vitrifikasi adalah pengolahan termal yang mengubah limbah menjadi gelas atau bahan kristalin. Kebanyakan proses vitrifikasi beroperasi pada suhu 1200°C atau lebih. Pada suhu ini semua bahan organik dan beberapa bahan anorganik (seperti sianida, nitrat) telah hancur. Senyawa organik akan membentuk gas

(seperti karbon dioksida, uap air, nitrogen oksida, sulfur) saat berinteraksi dengan senyawa organik dalam lelehan, atau dengan oksigen saat keluar dari proses. Arus listrik dialirkan ke dalam tanah, hingga menimbulkan panas. Akibatnya tanah akan mencair, menjadi massa lelehan yang bersifat lebih konduktif dan menjadi medium transfer panas yang terus mengembang.

Berikut merupakan ilustrasi mekanisme kerja vitrifikasi. Gambar 2.6 dibawah ini menunjukkan mekanisme kerja remediasi dengan teknologi vitrifikasi.



Gambar 2.6 Mekanisme Remediasi dengan Teknologi Vitrifikasi

Sumber :

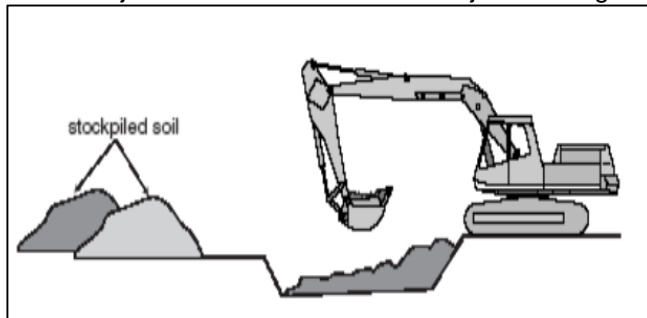
<https://www.google.com/search?q=vitrifikasi+in+situ&safe=strict&tbs=is&tbs=rimq:CbtFvlxvrKaRIqi7Rb5cb6ymkSoSCbtFvlxvrKaREeREKu2ncwuK&tbo=u#imgsrc=u0W-XG-sppHNJM:>

Vitrifikasi secara termal mampu digunakan untuk meremediasi tanah tercemar limbah B3 organik maupun anorganik (Anrozi, 2017).

B. *Landfilling*

Landfilling adalah penyingkiran limbah ke dalam tanah dengan pengurugan atau penimbunan. Cara ini merupakan cara yang paling sering dijumpai dalam pengolahan limbah (Anonym, 2012). Keuntungan yang dapat diperoleh jika menggunakan teknologi *landfilling* adalah efektifitas dan efisiensi yang tinggi sehingga dapat

menekan biaya pengolahan (Anonym, 2015). Gambar 2.7 menunjukkan ilustrasi mekanisme kerja landfilling.



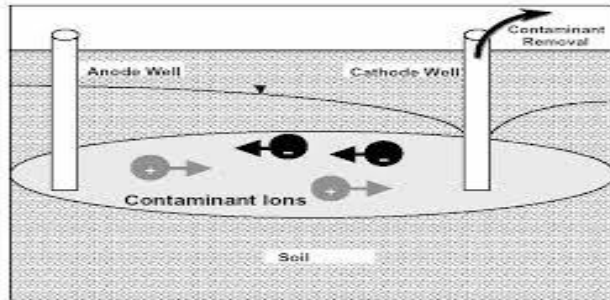
Gambar 2.7 Mekanisme Remediasi dengan Teknologi Landfilling

Sumber : <https://dokumen.tips/documents/remediasi-tanahpdf.html>

C. Elektrokinetik

Remediasi secara elektrokinetik merupakan teknologi pemulihan tanah terkontaminasi logam berat dengan senyawa-senyawa organik meliputi proses secara in-situ dengan menggunakan tegangan listrik rendah atau DC (*direct current*) pada potonga melintang area elektroda yang diletakkan pada tanah dengan susunan aliran terbuka (Hakim, 2005). Dengan penerapan teknologi tersebut diharapkan kontaminan logam berat dalam tanah dapat dipindahkan/digerakkan, dipadatkan/dipekatkan oleh elektroda serta diekstraksikan dari tanah, yang secara skematik dapat dilihat pada gambar dibawah ini (Aishawabkeh, 2001).

Penggunaan teknologi remediasi menggunakan elektrokinetik ini jarang digunakan untuk remediasi skala besar atau dengan cakupan wilayah remediasi yang luas dikarenakan rumitnya alat dan teknologi yang digunakan serta biaya yang harus dikeluarkan untuk Gambar 2.8 menunjukkan mekanisme kerja remediasi dengan teknologi elektrokinetik.



Gambar 2.8 Mekanisme Remediasi dengan Teknologi Elektrokinetik

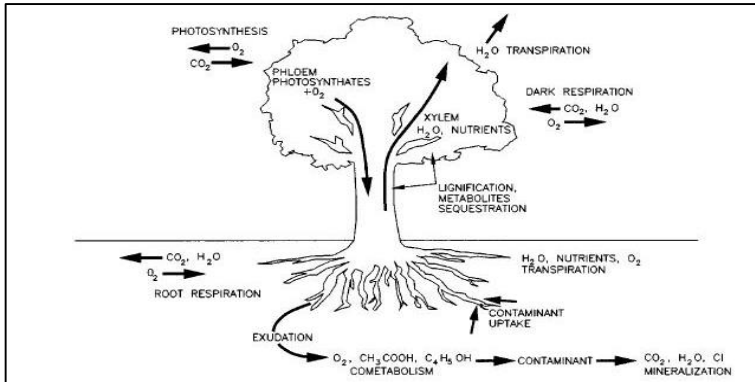
Sumber : https://caridokumen.com/download/remediasi-tanah-terkontaminasi-logam-berat-krom-cr-dengan-teknik-remediasi-elektrokinetik_5abb7890b7d7bc0042171df3.pdf

D. Biologi (*Bioremediation*)

Menurut Cookson (1995), bioremediasi merujuk pada penggunaan secara produktif proses biodegradatif untuk menghilangkan atau mendetoksi polutan (biasanya kontaminan tanah, air, dan sedimen) yang mencemari lingkungan dan mengancam kesehatan masyarakat.

Jadi, bioremediasi adalah suatu teknologi alternatif untuk mengatasi masalah lingkungan dengan memanfaatkan bantuan mikroorganisme. Mikroorganisme yang dimaksud adalah khamir, fungi (*mycoremediasi*), *yeast*, alga, dan bakteri yang berfungsi sebagai agen bioremediator. Selain dengan memanfaatkan mikroorganisme, bioremediasi juga dapat pula memanfaatkan tanaman air. Penggunaan tumbuhan ini biasa dikenal dengan istilah *fitoremediasi*. Bioremediasi juga dapat dikatakan sebagai proses penguraian limbah organik/anorganik polutan secara biologi dalam kondisi terkendali (Anonym, 2014).

Gambar 2.9 menunjukkan salah satu contoh remediasi dengan teknologi bioremediasi yaitu *fitoremediasi*.

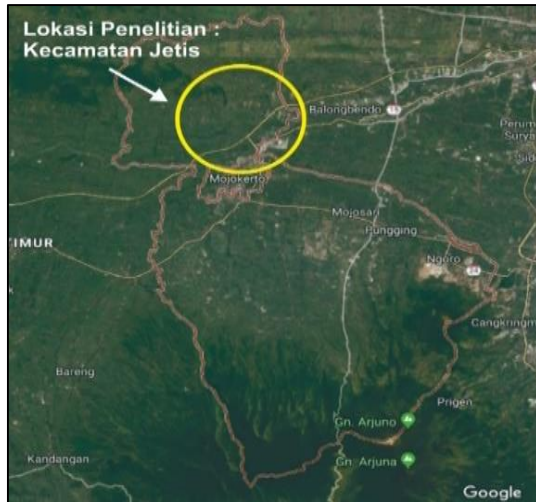


Gambar 2.9 Remediasi dengan Teknologi Bioremediasi : Fitoremediasi
 Sumber : <http://alitudisanjaya.blogspot.com/2011/03/fitoremediasi-phytoremediation.html>

Remediasi tanah tercemar logam berat juga dapat ditentukan menggunakan *Treatment Technologies Screening Matrix (The Federal Remediation Technology Roundtable, 2002)*. *Treatment Technologies Screening Matrix* berisi beragam macam teknologi remediasi untuk beberapa unsur seperti air, tanah, dan udara. Pengelompokan teknologi juga disajikan berdasarkan tempat penerapan teknologi yaitu in-situ (*onsite*) dan ex-situ (*offsite*). Dari studi literatur dan penggunaan *Treatment Technologies Screening Matrix* ini nantinya didapatkan metode teknologi remediasi yang tepat untuk permasalahan pencemaran logam berat timbal (Pb) di Kecamatan Jetis. *Treatment Technologies Screening Matrix* dapat dilihat pada bagian lampiran.

2.7 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Kecamatan Jetis terletak di Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur. Kecamatan Jetis merupakan salah satu kecamatan di antara 18 (delapan belas) kecamatan yang terdapat di Kabupaten Mojokerto tepatnya sekitar 10 km sebelah utara dari pusat Pemerintahan Kabupaten Mojokerto. Kecamatan Jetis memiliki luas wilayah seluas 56,82 km² dan jumlah penduduk sebanyak 79.967 jiwa pada tahun 2010. Gambar 2.10 berikut menunjukkan Peta Kabupaten Mojokerto.



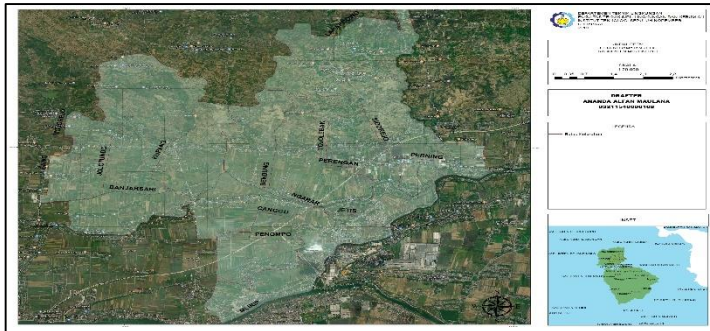
Gambar 2.10 Peta Kabupaten Mojokerto
 Sumber : *Google Maps*

Kecamatan Jetis merupakan salah satu kecamatan yang cukup padat di Kabupaten Mojokerto dengan kepadatan penduduk sebesar 1224 jiwa/km² dan tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 1,67% dikarenakan terdapat berbagai kegiatan industri pada kecamatan ini. Kecamatan Jetis terdiri dari 16 desa atau kelurahan, 126 Rukun Warga (RW), 485 Rukun Tetangga (RT), serta 79 dusun. Desa atau kelurahan yang berada di Kecamatan ini antara lain Desa Mlirip, Penompo, Canggung, Jetis, Ngabar, Mojolebak, Pening, Banjarsari, Sawo, Kupang, Pening, Paringan, Sidorejo, Lakardowo, Bendung, Jolotundo, dan Mojorejo. Dalam lingkup yang lebih kecil lagi akan dibagi menjadi Dusun. Kecamatan Jetis mempunyai batas wilayah administratif sebagai berikut :

- Sebelah Utara : Kecamatan Dawar Blandong
- Sebelah Timur : Kab. Gresik dan Kab. Sidoarjo
- Sebelah Selatan : Kota Mojokerto
- Sebelah Barat : Kecamatan Gedeg

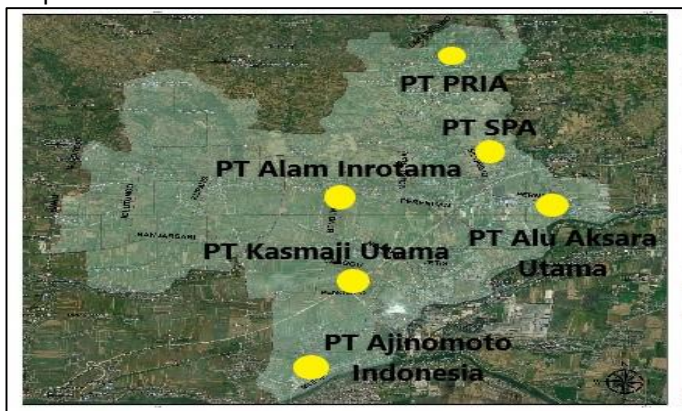
(Kecamatan Jetis Dalam Angka, 2018)

Gambar 2.11 dibawah ini menunjukkan Peta Wilayah Kecamatan Jetis yang diperoleh dari satelit.



Gambar 2.11 Peta Kecamatan Jetis
 Sumber : BAPPEDA Kabupaten Mojokerto

Pemilihan Kecamatan Jetis dalam penelitian ini dikarenakan Kecamatan Jetis merupakan salah satu Kawasan Industri Wilayah Desa dengan beberapa industri besar didalamnya. Industri-industri yang terdapat di Kecamatan Jetis antara lain 3 industri makanan dan minuman, 1 industri tekstil, 1 industri kulit barang, 3 industri kimia farmasi, 5 industri karet, 3 industri barang galian non logam, 3 industri logam dasar, 2 industri elektronik, dan 8 perusahaan furniture (Kab. Mojokerto dalam angka, 2017). Gambar 2.12 dibawah ini menunjukkan letak beberapa industri besar di Kecamatan Jetis.



Gambar 2.12 Lokasi Industri Besar
 Sumber : BAPPEDA Kabupaten Mojokerto

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Dalam Penelitian ini akan dilakukan pembuatan sebuah penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG) berupa peta persebaran tanah tercemar logam Pb di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Peta persebaran tersebut dibuat berdasarkan konsentrasi Pb dalam tanah. Dilakukan penelitian pendahuluan berupa pengukuran konsentrasi logam berat dalam tanah pada Kecamatan Jetis yang titik pengukurannya dipilih secara *random* untuk mengetahui kandungan logam berat *eksisting* pada tanah di Kecamatan Jetis.

Untuk penelitian lanjutan dilakukan penentuan titik lokasi pengambilan sampel tanah menggunakan jalur transek yang ditentukan secara representatif dan menyeluruh. Untuk analisa sampel dilakukan menggunakan alat *Atomic Absop Spectrophotometry (AAS)* guna mengetahui besar konsentrasi Pb pada tanah di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

Pembuatan Sistem Informasi Geografis (SIG) berupa peta persebaran logam Pb hasil analisa sampel pada Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Pembuatan peta persebaran dilakukan menggunakan *software AutoCAD* dan *ArcGIS*. Peta persebaran ini nantinya akan memudahkan pengambilan keputusan untuk menentukan metode remediasi yang tepat pada tanah tercemar Pb. Metode remediasi yang telah ditentukan nantinya akan dibuatkan rancangan pembiayaan yang berlandaskan studi literatur.

3.2 Ide Penelitian

Ide penelitian ini atas dasar dosen pembimbing mengenai pengelolaan lahan tercemar pada suatu wilayah. Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto merupakan wilayah desa dengan kegiatan industri yang padat. Kegiatan industri yang meningkat pada wilayah desa mengindikasikan adanya peningkatan tanah tercemar oleh logam berat dari produk sisa atau produk buangan

dari kegiatan industri tersebut seperti limbah produksi ataupun lalu-lalang kendaraan operasional pabrik. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa air di salah satu sumur warga desa Lakardowo tercemar logam berat dengan konsentrasi Pb yang melebihi baku mutu. Berdasarkan penjelasan diatas diperlukan pengukuran konsentrasi Pb secara menyeluruh untuk mengetahui seberapa besar dampak yang akan ditimbulkan.

Untuk mengetahui potensi dampak yang ditimbulkan secara optimal diperlukan sebuah data sebaran logam Pb berupa peta dengan penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG). Peta persebaran logam Pb ini juga akan mempermudah pengambilan keputusan dalam menentukan metode remediasi yang tepat.

3.3 Waktu Penelitian

Waktu dan tempat penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2019 hingga bulan Juli 2019 di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto.

3.4 Alat dan Bahan

Untuk melakukan penelitian ini diperlukan alat dan bahan sebagai berikut :

A. Alat :

1. Sekop
2. Penggaris
3. Ring sampel tanah.
4. Plastik wadah sampel tanah.
5. Neraca Analitik.
6. Labu Erlenmeyer
7. Pipet
8. Gelas ukur
9. Botol Sampel 50 ml.
10. Rotator Shaker.
11. Mesin *Centrifuge*.
12. Kertas saring.
13. Mesin *Vacum Pump*.
14. Mesin *Fume Hot Block*
15. Mesin *Atomic Absorp Spectrophotometri (AAS)*.

16. Komputer dengan software *AutoCAD* dan *ArcGIS*.

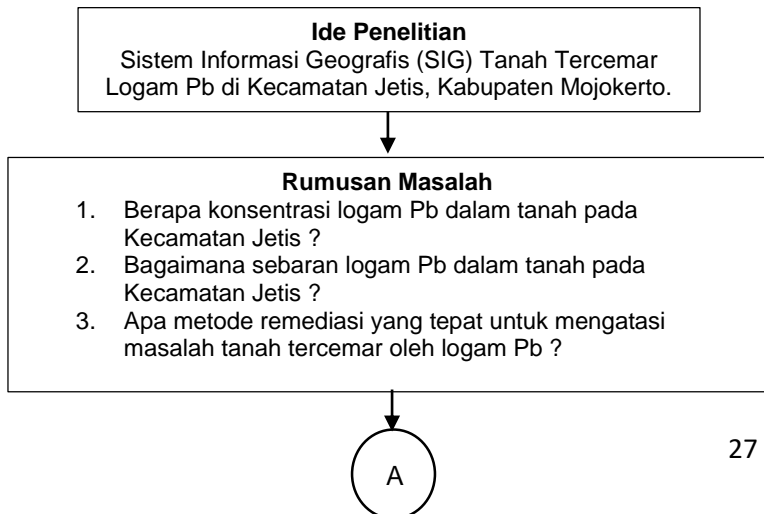
B. Bahan :

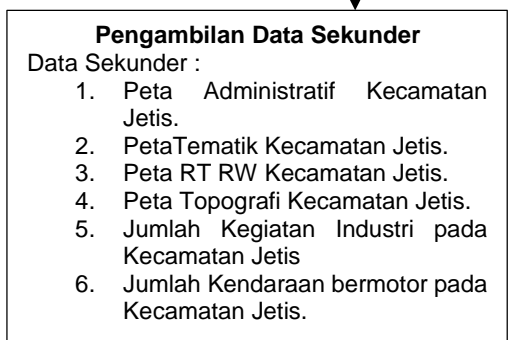
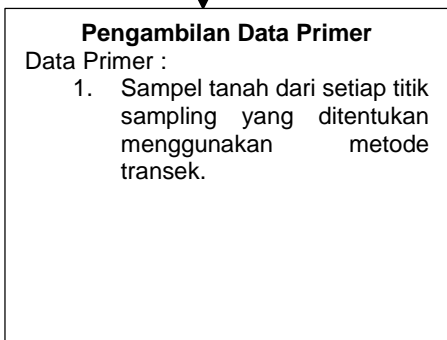
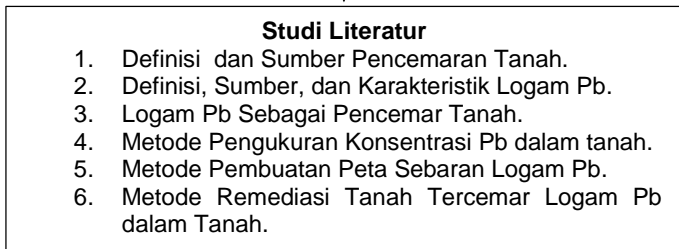
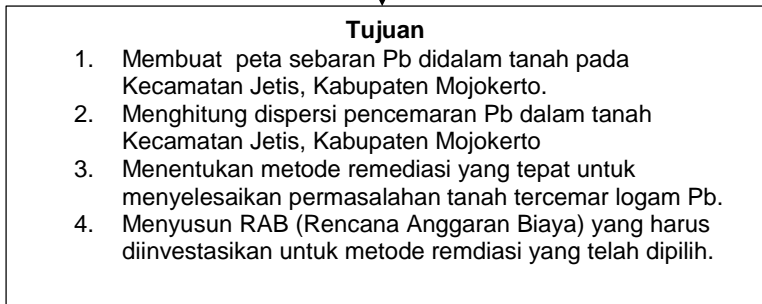
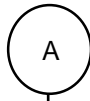
1. Sampel tanah Kecamatan Jetis.
2. Larutan Ekstraksi EDTA_{Na}2.
3. Larutan Ekstraksi Aqua Regia.

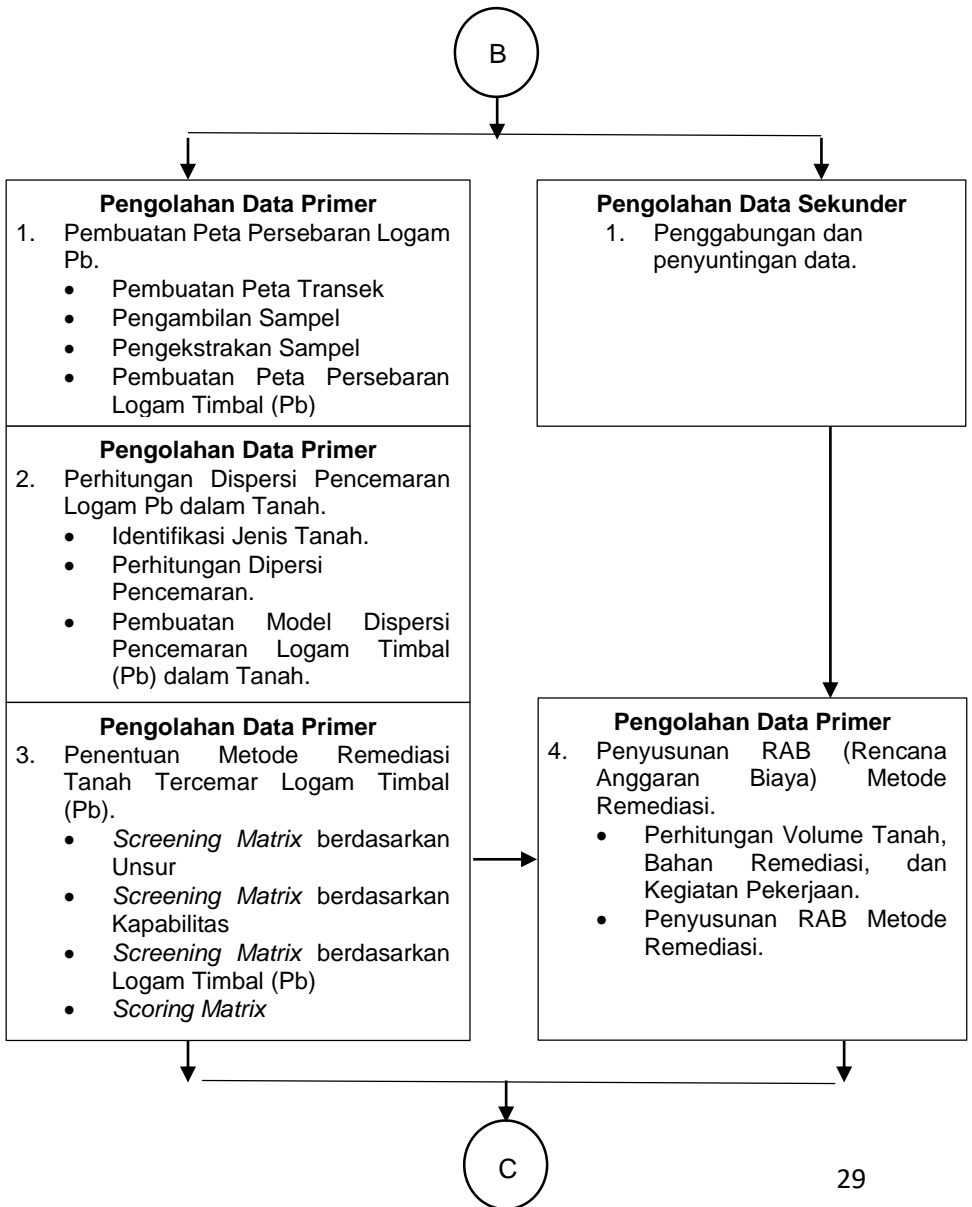
3.5 Kerangka Penelitian

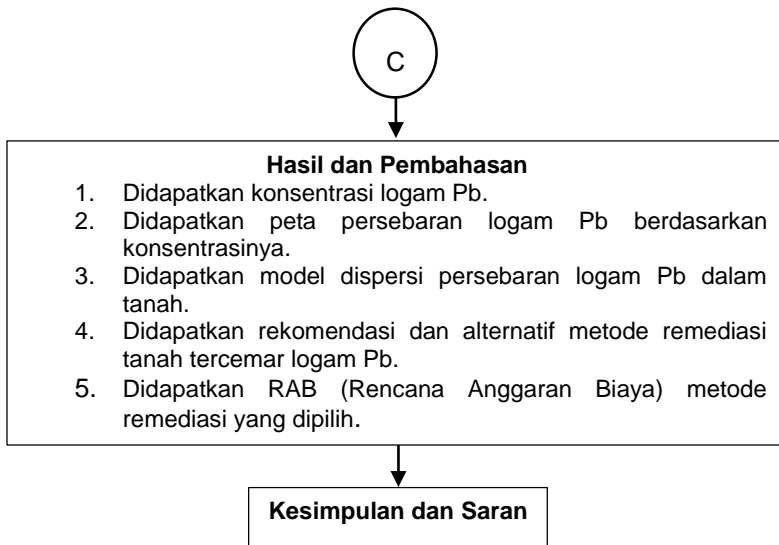
Kerangka penelitian bersungsi sebagai gambaran umum penelitian yang disusun secara runtut berdasarkan tahapan pelaksanaan penelitian untuk mencapai tujuan akhir penelitian. Tujuan dibuatnya kerangka penelitian ini adalah untuk memudahkan peneliti dalam melaksanakan penelitian dengan mengilustrasikan informasi dan alur kerja penelitian secara ringkas dan terikat.

Kerangka penelitian ini diawali dari ide penelitian yang muncul dari permasalahan yang ada, selanjutnya dilakukan studi literatur untuk mendapat referensi dan teori-teori yang ada mengenai penelitian. Setelah melakukan studi literatur, Selanjutnya dilakukan pengambilan data yang kemudian diolah. Data yang telah diolah kemudian disajikan melalui pembahasan-pembahasan yang rinci. Hasil dan pembahasan data penelitian menghasilkan kesimpulan serta saran sebagai tanda bahwa penelitian telah selesai. Kerangka penelitian dapat dilihat pada gambar berikut ini.









Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.6 Tahapan Penelitian

3.6.1 Studi Literatur

Studi literatur digunakan sebagai referensi yang berisi teori-teori pendukung dalam pelaksanaan penelitian ini. Studi literatur yang dipelajari dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- A. Definisi dan sumber pencemaran tanah.
- B. Definisi , sumber, dan karakteristik logam Pb.
- C. Logam Pb sebagai pencemar tanah.
- D. Metode pengukuran konsentrasi logam Pb dalam tanah.
- E. Metode pembuatan peta sebaran logam Pb berdasarkan konsentrasi logam Pb dengan penerapan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG).
- F. Metode pembuatan skema dispersi pencemaran logam Pb didalam tanah menggunakan.
- G. Metode remediasi tanah tercemar logam Pb.

Diharapkan dari studi literatur ini, tahapan penelitian selanjutnya telah didasarkan pada metoda yang tercantum didalam studi literatur ini serta dapat diterapkan dengan baik dan benar. Kedepannya, hasil dari penelitian ini tidak hanya bermanfaat bagi peneliti melainkan juga bermanfaat bagi penelitian-penelitian selanjutnya, masyarakat luas, serta instansi pemerintahan terkait.

3.6.2 Perizinan

Untuk menunjang proses kelancaran kegiatan pengambilan data pada penelitian ini diperlukan perizinan yang akan diajukan ke beberapa instansi pemerintahan dalam lingkup Kabupaten Mojokerto dan Kecamatan Jetis. Perizinan ditujukan kepada :

- A. Pemerintah Kabupaten Mojokerto, sebagai pemberi izin diadakannya penelitian ini.
- B. Badan Kesatuan Bangsa dan Politik (BAKESBANGPOL) Kabupaten Mojokerto, sebagai pemberi izin dadakannya penelitian ini.
- C. Kantor Kecamatan Jetis, sebagai pemberi izin diadakannya penelitian ini.

Setelah pengurusan perizinan, sejatinya akan dilakukan penelitian pendahuluan. Penelitian pendahuluan bertujuan untuk mengetahui konsentersasi logam berat dalam tanah pada kondisi eksisting akan tetapi karena keterlambatan proses pengurusan perizinan, penelitian akan dilaksanakan setelah Seminar Proposal Tugas Akhir. Tahapan pada penelitian pendahuluan sama dengan tahapan penelitian utama yang akan dijelaskan pada bab ini. Tabel 3.1 menunjukan contoh hasil penelitian pendahuluan.

Tabel 3.1 Hasil Penelitian Pendahuluan.

Lokasi Sampel	Waktu Pengambilan	Konsentrasi Pb	Keterangan
		dalam Tanah mg/kg	
Lokasi 1	Senin, -- Januari 2019	C1	Melebihi Baku Mutu
Lokasi 2	Senin, -- Januari 2019	C2	Dibawah Baku Mutu
Lokasi 3	Senin, -- Januari 2019	C3	Melebihi Baku Mutu

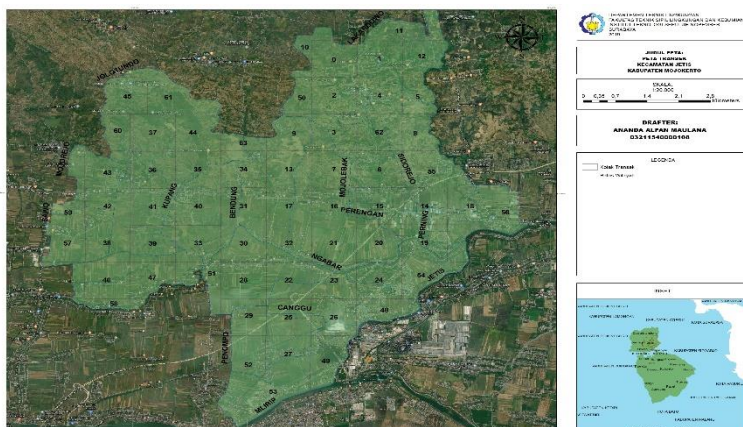
3.6.3 Pengambilan Sampel (*Sampling*)

Untuk pengambilan sampel pada penelitian ini dijabarkan kedalam dua tahapan dimana masing-masing tahapan menggunakan metode tersendiri, yaitu :

A. Penentuan Titik Lokasi Sampel.

Penentuan titik lokasi sampel pada penelitian ini menggunakan metode *Transect Area*. Metode *Transect Area* adalah metode pengamatan suatu objek yang terletak pada suatu wilayah atau kawasan dengan luasan tertentu menggunakan prinsip luas melalui sebuah garis atau jalur yang ditempatkan secara menyeluruh (Hidayat et al., 2017).

Kecamatan Jetis memiliki luas wilayah seluas 57,10 km². Besar luasan garis atau jalur transek ditentukan berdasarkan luas dan topografi wilayah tersebut (Nurahman et al., 2012). Berdasarkan luas dari Kecamatan Jetis dan untuk mencakup keseluruhan wilayah kecamatan serta pertimbangan dalam efisiensi pengambilan data, besar luasan garis atau jalur transek yang digunakan yaitu 1 km x 1 km dan didapatkan jumlah keseluruhan sampel sebanyak ± 54 buah sampel. Berikut contoh penempatan jalur transek pada Kecamatan Jetis. Pada Gambar 3.2 berikut menunjukkan peta Kecamatan Jetis dengan *Transect Area* 1km x 1km.



Gambar 3.2 Peta Kecamatan Jetis dengan *Transect Area* 1 km x 1 km

Berdasarkan gambar diatas, akan dilakukan pengambilan sampel pada setiap kotak *Transect Area* 1 km x 1 km tersebut. Sehingga akan didapatkan lokasi sampel yang representatif dan menyeluruh.

B. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel tanah dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia tanah pada satu titik pengamatan, misalnya pada lokasi perkebunan atau suatu hamparan berdasarkan poligon atau jenis tanah tertentu dalam suatu peta tanah. Untuk suatu sampel tanah yang diambil harus mencerminkan kondisi di lapangan (Suganda et al., 2006). Pada penelitian kali ini pengambilan sampel tanah menggunakan metode *Ring Sample*.

Ring sampel tanah digunakan sebagai alat untuk mengambil sampel tanah utuh. Pengambilan sampel tanah dengan alat ring sampel tanah (*soil ring sample*) bertujuan untuk mendapatkan contoh tanah yang akan digunakan untuk kepentingan analisis di laboratorium (Anonym, 2015). Gambar 3.3 menunjukkan alat ring sampel tanah.



Gambar 3.3 Alat Ring Sampel Tanah

Sumber :Suganda *et al.*, 2006

Suganda et al., (2006) menjelaskan langkah-langkah dalam pengambilan sampel tanah sebagai berikut :

1. Ratakan dan bersihkan permukaan tanah dari rumput atau serasah.

2. Gali tanah sampai kedalaman tertentu (10-20 cm) menggunakan sekop kecil disekitar calon tempat peletakan alat ring sampel.
3. Letakan alat ring sampel secara tegak lurus dengan permukaan tanah, kemudian dengan menggunakan balok kecil yang diletakkan diatas permukaan alat ring sampel, alat ring sampel ditekan sampai alat ring sampel masuk kedalam tanah dengan rata.
4. Gali alat ring sampel menggunakan sekop. Dalam menggali, ujung sekop harus lebih dalam dari ujung tabung agar tanah dibawah alat ring sampel ikut terangkat.
5. Iris kelebihan tanah pada bagian bawah dan atas alat ring sampel dengan hati-hati agar permukaan tanah sama dengan permukaan alat ring sampel, kemudian tutuplah alat ring sampel menggunakan tutup plastik yang telah tersedia.

Gambar 3.4 menunjukkan rangkaian proses pengambilan sampel tanah.



Gambar 3.4 Tahapan Pengambilan Sampel Tanah Menggunakan Alat Ring Sampel (bergerak dari pojok kiri atas ke pojok kanan bawah)
 Sumber : Suganda *et al.*, 2006

Untuk efisiensi penggunaan alat dan kejernihan sampel. Sampel tanah pada alat ring sampel dipindahkan kedalam plastik *ziplock* yang telah diberi label yang berisi identitas sampel seperti nomor sampel, waktu, dan lokasi koordinat pengambilan sampel. Sampel yang telah diletakkan dalam plastik *ziplock* siap digunakan untuk tahapan penelitian selanjutnya.

3.6.4 Preparasi Sampel

Tahapan penelitian selanjutnya telah memasuki tahapan perlakuan sampel dalam laboratorium. Sampel mentah dari lapangan harus melalui tahap preparasi atau persiapan sebelum siap menjadi sebuah bahan yang dapat diuji di laboratorium. Tahapan preparasi dalam penelitian ini adalah ekstraksi sampel dari fase padat menjadi cair menggunakan dua metode ekstraksi, yaitu kaedah pengestrakan EDTA (Holleman and Willburg, 2001) dan kaedah pencernaan asam (USEPA, 1996).

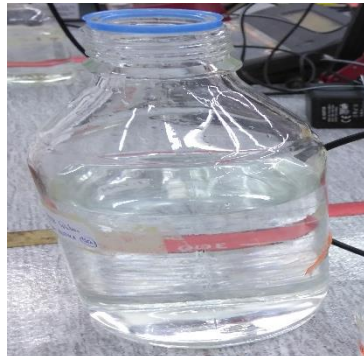
A. Metode Pengekstrakan EDTA

Menurut Holleman dan Willburg (2001), pengestrakan EDTA adalah sebuah metode ekstraksi untuk mengetahui kandungan logam berat yang bersifat *Bio-Availablity* atau yang memang sudah tersedia dan dapat diserap secara mudah.



Gambar 3.5 Bubuk EDTANa

Sumber : Google Images



Gambar 3.6 Larutan EDTANa₂

Sumber : Dokumentasi Pribadi

- Berikut akan dijelaskan langkah-langkah pengestraksian.
1. Menimbang bubuk EDTANa₂ sebanyak 18,61 ± 0,05 gram, kemudian dilarutkan dengan 800 ± 20 ml air suling nyah-ion.
 2. Menambahkan larutan NaOH 10 mol/L kedalam larutan EDTANa₂ hingga pH larutan EDTANa₂ mencapai 8, kemudian larutan dioptimalkan hingga 1000 ml dengan air suling nyah-ion.

3. Menimbang sampel tanah sebanyak 5 gram, kemudian dimasukkan kedalam botol centrifuge 50 ml dan dilarutkan dengan 50 ml larutan EDTANA₂
4. Mengocok sampel tanah dan larutan EDTANA₂ yang sudah berada pada botol centrifuge dengan menggunakan *Rotator Shaker* pada kecepatan 30 rpm selama 1 jam.
5. Sampel yang telah dikocok selanjutnya dimasukkan kedalam mesin centrifuge selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm.
6. Menyaring sampel menggunakan kertas saring 0,45 µm dengan mesin *vacuum pump*.
7. Sampel yang telah diasring disimpan pada suhu 4°C

B. Metode Pencernaan Asam

Diterangkan dalam *Standard Methods USEPA* (1996), kaedah pencernaan asam merupakan metode ekstraksi untuk mengetahui kandungan logam berat secara keseluruhan atau *Total Amount of Heavy Metal* dalam sampel. Salah satu larutan asam yang digunakan yaitu larutan *Aqua Regia*. *Aqua Regia* adalah larutan yang dibuat dari pencampuran asam klorida pekat (HCl) dan asam nitrat pekat (HNO₃) dengan perbandingan 3:1 (American Chemical Society, 2010). Larutan ini bersifat sangat korosif mengeluarkan uap berwarna kuning. Larutan *Aqua Regia* sanggup melarutkan raksa (Hg), timbal (Pb), emas (Au), dan platina (Pt) (logam-logam yang paling mulia menurut deret Volta) (Hoffman,2007) . Karena sifatnya yang kurang stabil, maka larutan ini baru dibuat jika akan dipakai. Gambar 3.7 menunjukkan wujud pelarut *Aqua Regia*.



Gambar 3.7 Pelarut Aqua Regia.

Sumber : <https://pamung.wordpress.com/2010/05/03/aqua-regia/>

Berikut akan dijelaskan langkah-langkah pengestraksian.

1. Menimbang sampel tanah sebanyak 2 gram, lalu ditambahkan 5 ml HNO_3 69% dan dimasukkan ke dalam tabung ukur yang telah diletakkan didalam mesin *Fume Hot Block* kemudian didiamkan selama ± 1 malam.
2. Memanaskan sampel selama 1,5 jam pada suhu 95°C dengan mesin *Fume Hot Block*.
3. Setelah dipanaskan, kemudian sampel didinginkan hingga suhu berada pada angka 80°C lalu ditambahkan dengan 1-2 ml H_2O_2 30% dan selanjutnya dipanaskan kembali selama 2 jam pada suhu 95°C .
4. Setelah dipanaskan selama 2 jam, ditambahkan 2,5 ml *Aqua Regia* (HNO_3 : HCl = 1 : 3) kemudian ditambahkan air nyah-ion hingga 50 ml
5. Menyaring sampel menggunakan kertas saring $0,45 \mu\text{m}$ dengan menggunakan mesin *vacuum pump*.
6. Sampel yang telah disaring disimpan pada suhu 4°C .

3.6.5 Analisa Sampel

Setelah mengubah sampel mentah menjadi bahan siap uji dalam proses preparasi sampel dengan proses ekstraksi, tahapan selanjutnya dalam penelitian ini adalah menganalisa sampel yang telah siap uji tersebut. Analisa sampel yang dilakukan adalah pengukuran konsentrasi logam Pb dalam sampel menggunakan metode *Atomic Absorp Spectrophotometry (AAS)*.

Spektrofotometri merupakan suatu metode analisis kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan banyaknya radiasi yang dihasilkan atau yang diserap oleh spesi atom atau molekul analit. Salah satu bagian dari spektrofotometri ialah *Atomic Absorp Spectrophotometry (AAS)*, merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas (Skoog et al.,2000). Aprilia et al., (2015) menerangkan terdapat beberapa keuntungan dari penggunaan metode AAS , sebagai berikut :

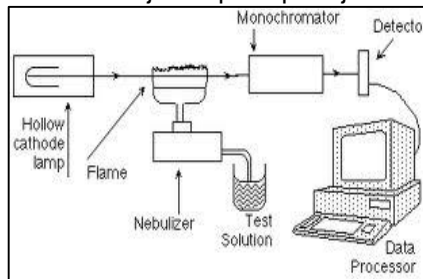
1. Prosedur pelaksanaan yang selektif, spesifik, dan biaya analisis yang realtif murah.

2. Dapat diaplikasikan pada banyak jenis unsur dalam banyak jenis contoh.
3. Batas kadar-kadar yang dapat ditentukan amat luas (mg/L hingga persen (%)).

Untuk pengukuran konsentrasi kadar logam Pb, panjang gelombang yang digunakan adalah 217 nm (SNI 6989.8 : 2009). Selain menerangkan mengenai keuntungan penggunaan metode AAS, Aprilia et al.,(2015) juga menerangkan mengenai prinsip kerja metode AAS sebagai berikut :

1. Sampel yang berbentuk liquid diubah menjadi bentuk aerosol atau nebule lalu bersama campuran gas bahan bakar masuk ke dalam nyala, disini unsur yang dianalisa tadi menjadi atom-atom dalam keadaan dasar (*ground state*).
2. Sinar yang berasal dari lampu katoda dengan panjang gelombang 217 nm, akan dilewatkan kepada atom dalam nyala api sehingga elektron pada kulit terluar dari atom naik ke tingkat energi yang lebih tinggi atau tereksitasi. Penyerapan yang terjadi berbanding lurus dengan banyaknya atom *ground state* yang berada dalam nyala.
3. Sinar yang tidak diserap oleh atom akan diteruskan dan dipancarkan pada detektor, kemudian diubah menjadi sinyal yang terukur.
4. Sinyal ukur tersebut terdata dalam nilai satuan Absorbansi (A) yang kemudian akan diplotkan kedalam kurva kalibrasi guna mencari konsentrasi logam Pb dalam nilai satuan PPM (*Part Per Million*).

Gambar 3.8 berikut menunjukkan prinsip kerja dari metode AAS.



Gambar 3.8 Prinsip Kerja Metode AAS.

Sumber : <https://gusnil45mind.files.wordpress.com/2010/12/aas2.jpg>

Untuk mengetahui konsentrasi logam Pb dari sinyal terukur tersebut dapat dikatakan sebagai pencemar, konsentrasi logam Pb dalam sampel ditinjau terlebih dahulu dengan baku mutu konsentrasi logam Pb dalam tanah dari berbagai standar baku mutu. Tabel 3.2 menunjukkan baku mutu maksimum konsentrasi logam berat pada tanah.

Tabel 3.2 Nilai Baku Mutu Maksimum Konsentrasi Logam Berat pada Tanah.

Logam Berat	Konsentrasi Maksimum Bahan Pencemar Dalam Tanah			
	PPM ^[1]	PPM ^[2]	mg/L ^[3]	mg/L ^[4]
Ar	75		5	3
Cd	85	0.5	1	0.9
Cr	3000	2.5	5	15
Cu	4300	125	10	60
Pb	420	100	5	3
Hg	840		0.2	0.3
Ni	75	20		21
Se	100		5	3
Zn	7500	70	50	300

Sumber : ^[1] US. EPA (1993).

^[2] Ministry of State for Population and Environment Republic of Indonesia and Dalhousie University of Canada (1992).

^[3] Peraturan Menteri ESDM No.45 Tahun 2006.

^[4] PP No.101 Tahun 2014. Nilai Baku Mutu Uji TCLP Tanah Tercemar Limbah B3.

3.6.6 Hasil dan Pembahasan

Hasil uji konsentrasi logam Pb dengan metode AAS akan dikompilasikan dalam bentuk tabel berdasarkan titik lokasi pengambilan sampel. Data kompilasi pada tabel tersebut akan dijadikan dasaran pembuatan peta persebaran logam Pb di Kecamatan Jetis. Peta persebaran logam Pb yang menyeluruh nantinya akan dijadikan sebagai metode pendekatan untuk menentukan alternatif dan rekomendasi teknologi remediasi yang

tepat untuk tanah tercemar logam Pb. Alternatif dan teknologi rekomendasi yang ada nantinya akan dinilai menggunakan matriks remediasi dan studi literatur yang lebih spesifik. Teknologi remediasi yang tepat nantinya akan dilakukan penyusunan sebuah RAB (Rencana Anggaran Biaya) yang harus diinvestasikan.

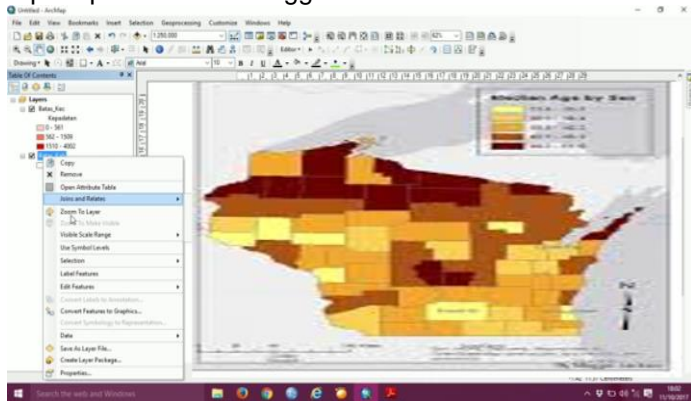
A. Pembuatan Peta Persebaran Logam Pb dengan Penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sebuah sistem untuk mengatur, menganalisa dan menampilkan informasi geografis (ESRI, 2004). Untuk mewujudkan sebuah Sistem Informasi Geografis (SIG) diperlukan sebuah media *software* untuk pengaplikasiannya. Salah satu *software* yang paling umum digunakan adalah *ArcGIS*. ESRI (2004) menerangkan bahwa *ArcGIS* merupakan salah satu *software* yang berisi kompilasi fungsi-fungsi dari berbagai macam *software* GIS yang berbeda seperti GIS desktop, server, dan GIS berbasis web. Produk utama dalam *ArcGIS* adalah *ArcGIS* desktop yang merupakan *software* komprehensif profesional dan dikelompokkan atas tiga komponen yaitu, *ArcView* (komponen untuk penggunaan data komprehensif, pemetaan, dan analisis), *ArcEditor* (komponen untuk *editing* dan data spasial), dan *ArcInfo* (lebih lengkap dalam menyajikan fungsi-fungsi GIS termasuk untuk keperluan analisis *geoprosesing*).

Kelebihan *ArcGIS* dari *software* sejenis lainnya adalah pada *ArcGIS* terdapat fasilitas *map publishing* (dapat ditambahkan grafik dan teks) yang cukup baik serta kemampuan menambahkan konten familiar (*layer, shapefile, raster, dll*) (Dhaahir, 2012). Oleh karena penjelasan tersebut penelitian ini menggunakan *software ArcGIS* dikarenakan data analisis banyak berupa grafik, tabel, dan teks tambahan serta pada penelitian-penelitian pemetaan sebaran lainnya juga menggunakan *ArcGIS* seperti

Prinsip kerja *ArcGis* secara garis besar adalah memasukan berupa *Map File* dengan format *Bitmap Picture (BMP)* kedalam *ArcGIS* yang selanjutnya dapat diolah oleh aplikasi lain didalamnya seperti *ArcMap, ArcCatalog, ArcGlobe, ArcScene, dan ArcToolBox* (Rais, 2005). Pada penelitian ini menggunakan peta wilayah Kecamatan Jetis sebagai *Map File* dasar yang kemudian akan ditambahkan titik-titik lokasi pengambilan sampel.

Data hasil analisa berupa konsentrasi logam Pb akan diplotkan kedalam titik-titik lokasi pengambilan sampel tersebut dan selanjutnya diberi tambahan warna untuk memerikan keterangan besaran kosentrasi logam Pb, dimana semakin pekat warna maka semakin besar konsentrasi logam Pb. Gambar 3.9 menunjukan contoh peta persebaran menggunakan ArcGIS.



Gambar 3.9 Contoh Peta Persebaran

Sumber : <https://www.bmkg.go.id/iklim/?p=proyeksi-perubahan-iklim>

Nantinya, peta yang dihasilkan berupa kotak-kotak sampel transek yang ditempatkan didalam wilayah Kecamatan Jetis dan akan diberi indikator kepekatan warna berdasarkan hasil analisa kandungan logam Pb didalam tanah pada masing-masing lokasi sampel. Dari indikator kepekatan warna tersebut diharapkan munculnya gradasi warna dengan warna netral disesuaikan dengan nilai baku. Jika warna semakin pekat maka nilai konsentrasi logam Pb melebihi baku mutu dan begitu juga sebaliknya jika warna semakin pudar dari warna netral maka konsentrasi logam Pb berada dibawah baku mutu.

B. Pembuatan Skema Dispersi Pencemaran Logam Pb dalam Tanah.

Skema dispersi pencemaran didalam tanah dapat dibuat menggunakan *software* Hydrus 1D dan 2D/3D. *Software* ini dapat mengetahui pergerakan didalam dan seluas apa persebaran pencemaran logam Pb di dalam tanah dan data-data yang dibutuhkan

dalam pembuatan skema ini berupa data fisik atau data lapangan seperti kedalaman posisi sampel tanah dan jarak antar sampel, serta data-data laboratorium seperti sifat fisik-kimia tanah dan kandungan logam pencemar dalam tanah. Batas-batas tambaha berupa baku mutu pencemaran logam Pb dan indikator warna juuga dibutuhkan guna mendapatkan hasil permodelan skema dispersi pencemaran tanah. Aplikasi ini dapat menyederhanakan perhitungan dispersi pencemaran tanah yang divisualisasikan dalam bentuk gambar dan juga grafik.

C. Penentuan Teknologi Remediasi.

Peta persebaran logam Pb yang menyeluruh dan informatif selanjutnya dapat digunakan untuk metode pendekatan dalam menentukan teknologi remediasi yang tepat untuk tanah tercemar logam Pb. Peta persebaran dapat membantu dalam memilih wilayah mana yang harus dilakukan remediasi dan wilayah mana yang dapat menjadi wilayah kontrol. Diharapkan penerapan teknologi remediasi akan tepat pada sasaran yang diinginkan.

Pemilihan teknologi remediasi dapat menggunakan metode penilaian matriks yaitu *Treatment Technologies Screening Matrix* (The Federal Technology Roundtable, 2002). Dalam matriks ini berisi alternatif-alternatif dan referensi teknologi remediasi yang dapat diterapkan. Penilaian dalam matriks ini berdasar pada berbagai aspek seperti kondisi wilayah penelitian, *operation and maintenance* dari teknologi remediasi tersebut, dan biaya yang harus diinvestasikan untuk teknologi remediasi tersebut. Matriks *Treatment Technologies Screening Matrix* dapat dilihat pada lampiran.

D. Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Teknologi Remediasi.

Teknologi remediasi yang telah dipilih selanjutnya akan disusun sebuah Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang harus diinvestasikan untuk mewujudkan penerapan teknologi remediasi tersebut. Penyusunan RAB akan berdasarkan pada studi literatur yang lebih spesifik dan penggunaan Standar Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kota Mojokerto yang terdapat didalam Peraturan Walikota Mojokerto No.35 Tahun 2016. HSPK sendiri akan

dijadikan sebagai acuan pembiayaan secara administratif dan pelaksanaan kerjanya secara keteknikkan.

Upaya untuk memebersihkan daerah tercemar dengan penerapan strategi rehabilitasi lingkungan umumnya sangat mahal (Onrizal, 2005), sehingga penting untuk mengembangkan strategi yang murah dan ramah lingkungan. Penggunaan tanaman sebagai agen dalam remediasi logam berat pun telah dikembangkan pada berbagai jenis logam berat dengan harapan dapat meremediasi daerah tercemar dengan biaya yang relatif murah (Ali et al.,2013). Tabel 3.3 menunjukan contoh estimasi biaya alternatif teknologi remediasi pada tanah tercemar logam berat.

Tabel 3.3 Estimasi Biaya Alternatif Teknologi Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat.

Treatment	Biaya (Kurs Rupiah : 14.060,71)	
	USD (\$) per Ton	IDR (Rp) per Ton
Vitrification	425	5.975.572
Landfilling	500	7.030.085
Chemical Treatment	500	7.030.085
Electrokinetics	200	2.812.034
Phytoextraction	40	562.407

Sumber : Lasat (2000)

3.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan tahapan paling akhir dalam penelitian. Tahap akhir yang dilakukan pada penelitian adalah menyimpulkan hasil analisis data dan pembahasan serangkaian penniselitan yang dilakukan. Kesimpulan dari hasil penelitian ditulis sesuai dengan kondisi terakhir saat meneliti dan dapat menjawab tujuan. Kesimpulan disajikan dalam bentuk poin-poin secara singkat dan jelas. Saran merupakan rekomendasi yang diberikan untuk penelitian selanjutnya. Tujuan dari saran adalah memperbaiki dan menyempurnakan penelitian sebelumnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Peta Persebaran Logam Timbal (Pb)

Dalam pembuatan peta persebaran logam timbal (Pb) dilalui beberapa tahapan kegiatan, yaitu dimulai dari pembuatan peta transek untuk penentuan lokasi pengambilan sampel, kemudian pengambilan sampel (*sampling*), dilanjutkan dengan kegiatan laboratorium berupa ekstraksi sampel, dan yang terakhir yaitu pembuatan peta persebaran logam timbal (Pb) menggunakan perangkat lunak *ArcGIS*. *Flow Chart* pada Gambar 4.1 dibawah ini menunjukkan tahapan dalam pengerjaan pembuatan peta persebaran logam timbal (Pb).



Gambar 4.1 *Flow Chart* Pembuatan Peta Persebaran Logam Timbal

4.1.1 Pembuatan Peta Transek

Tahapan pertama untuk membuat peta persebaran logam timbal (Pb) adalah membuat peta transek yang bertujuan untuk menentukan cakupan wilayah titik pengambilan sampel. Peta Transek yang digunakan berukuran 1 km x 1 km. Peta Transek ini dibuat menggunakan perangkat lunak *ArcGIS*. Tahapan-tahapan dalam pembuatan peta transek dapat dilihat pada bagian lampiran. Peta Transek Kecamatan Jetis dapat dilihat pada Gambar 4.2 di halaman selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.1.2 Pengambilan Sampel (*Sampling*)

Dalam melakukan pengambilan sampel juga dilalui oleh beberapa tahapan, yaitu memilih lokasi titik sampel berdasarkan peta transek yang telah dibuat dan pengambilan sampel secara langsung diloksi yang telah dipilih.

Pengambilan sampel tanah dilakukan di Wilayah Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto. Pengambilan sampel dilakukan selama lima kali pengambilan, yaitu pada tanggal 14, 15, 17, 19, dan 20 Maret 2019. Pengambilan sampel dimulai dari pukul 08.00 WIB hingga pukul 16.00 WIB. Berikut akan dijelaskan tahapan-tahapan dalam pengambilan sampel.

Langkah 1.Memilih Lokasi Titik Pengambilan Sampel Berdasarkan Peta Transek 1 km x 1 km.

Titik lokasi pengambilang sampel disesuaikan dengan kotak transek pada Peta Transek 1 km x 1 km. Unutk mendapatkan lokasi yang sesuai dengan Peta Transek diperlukan penyesuaian titik lokasi dan koordinat. Penyesuain lokasi pengambilan sampel dilakukan menggunakan beberapa perangkat lunak tambahan, yaitu *Google Maps* dan *UTM Geo Map*. Kedua perangkat lunak tersebut dapat membantu dalam *tracking* jalur menuju lokasi pengambilan sampel dan dapat membantu menyesuaikan titik lokasi sampel agar tidak masuk kedalam kotak transek lainnya. Pada Gambar 4.3 berikut ditampilkan *interface* dari perangkat lunak *Google Maps* dan *UTM Geo Map*.



Gambar 4.3 Perangkat Lunak Google Maps dan UTM Geo Map.

Langkah 2. Pengambilan Sampel Secara Langsung di Titik Lokasi yang Telah Disesuaikan.

Pengambilan sampel digunakan menggunakan metode *Ring Sample*, yaitu menggunakan sebuah alat berdimensi silinder yang ditancapkan pada tanah dan ditanam pada kedalaman yang diinginkan. Alat ring sampel berbahan besi dan berbentuk seperti pipa dengan panjang 22 cm dan lebar 12 cm.

Pengambilan sampel dimulai dari meratakan permukaan tanah. Klasifikasi tanah yang akan dilakukan pengambilan adalah klasifikasi tanah *undisturbed soil*, yaitu tanah yang diatas permukaannya tidak terganggu oleh aktivitas manusia seperti bangunan permanen dan semi-permanen. Bagian tanah yang diambil adalah bagian *top-soilnya* (humus tanah) Setelah permukaan tanah diratakan, alat ring sampel ditancapkan dan diputar hingga kedalaman yang diinginkan yaitu 0-20 cm sesuai dengan yang telah dijelaskan pada sub-bab 3.6.3 bagian B. Kemudian tanah ditancapkan berupa alat *pH-Meter Portable 4 in 1* untuk mengetahui karakteristik awal tanah. Karakteristik yang dapat ditentukan menggunakan alat tersebut, yaitu pH tanah, suhu tanah, intensitas cahaya dalam tanah, dan kelembaban tanah. Selanjtnya, alat diangkat keluar dari tempat pengambilan sampel menuju permukaan kemudian tanah dikerluarkan. Sampel tanah yang telah dikeluarkan tadi selanjutnya dimasukkan kedalam plastik *ziplock*.

Setelah mendapatkan sampel tanah dan karakteristik awalnya, perlu juga dilakukan pencatatan keterangan penting lainnya seperti koordinat titik lokasi pengambilan, tanggal pengambilan, dan waktu pengambilan. Pada Gambar 4.4 berikut ditampilkan kegiatan pengambilan sampel.



Gambar 4.4 Kegiatan Pengambilan Sampel

Tabel 4.1 berikut menampilkan karakteristik sampel tanah.

Tabel 4.1 Karakteristik Sampel Tanah

No	Titik	Koordinat Pengambilan	Suhu (°C)	pH	Insentitas Cahaya	Kelembaban	Tanggal Pengambilan	Waktu Pengambilan (WIB)
1	6	7° 23' 35.85"S 112° 27' 54.87"E	35°C	7	Low -	Wet	19 Maret 2019	14.37
2	7	7° 23' 44.05"S 112° 27' 26.30"E	32°C	5	Low +	Wet	20 Maret 2019	16.30
3	8	7° 23' 20.22"S 112° 28' 21.19 "E	34°C	7	Low	Dry +	19 Maret 2019	14.00
4	13	7° 23' 43.6"S 112° 26' 46.04 "E	33°C	7	Low	Wet	20 Maret 2019	16.08
5	14	7° 24' 22.7"S 112° 28' 25"E	32°C	7	Low -	Wet	19 Maret 2019	10.21
6	15	7° 24' 16.17"S 112° 27' 46.59"E	31°C	7	Low -	Wet	19 Maret 2019	09.58
7	16	7° 24' 10.89"S 112° 27' 29.24"E	32°C	4	Low	Wet	17 Maret 2019	13.46
8	17	7° 24' 5.07"S 112° 27' 0.34 "E	34°C	8.5	Low -	Wet	17 Maret 2019	13.35

No	Titik	Koordinat Pengambilan	Suhu (°C)	pH	Insentitas Cahaya	Kelembaban	Tanggal Pengambilan	Waktu Pengambilan (WIB)
9	18	7° 24' 11.11"S 112° 24' 13.25"E	35°C	4	Low +	Wet	19 Maret 2019	10.41
10	19	7° 24' 45.81"S 112° 28' 27.91"E	35°C	7	Low -	Dry	19 Maret 2019	12.16
11	20	7° 24' 56.45"S 112° 28' 3.31"E	31°C	8.5	Low -	Normal	19 Maret 2019	12.35
15	21	7° 25' 38.95"S 112° 27' 29.98"E	30°C	7	Low	Dry +	14 Maret 2019	14.05
12	22	7° 25' 2.15"S 112° 26' 49.69"E	33°C	7	Low	Dry +	14 Maret 2019	11.17
13	23	7° 25' 11.48"S 112° 27' 19.23"E	39°C	9	Low	Dry +	14 Maret 2019	11.38
14	24	7° 25' 8.38"S 112° 27' 53.72"E	33°C	7	Low	Dry +	14 Maret 2019	12.10
16	25	7° 26' 9.89"S 112° 26' 47.04"E	36°C	7	Low	Dry +	14 Maret 2019	09.30

No	Titik	Koordinat Pengambilan	Suhu (°C)	pH	Insentitas Cahaya	Kelembaban	Tanggal Pengambilan	Waktu Pengambilan (WIB)
17	26	7° 26' 3.25"S 112° 27' 33.61"E	32°C	7	Low -	Dry +	14 Maret 2019	14.09
25	27	7° 27' 10.20"S 112° 26' 23.45 "E	34°C	7	Low	Dry +	12 Maret 2019	10.48
18	28	7° 25' 10.38"S 112° 26' 19.81"E	32°C	7	Low	Dry +	14 Maret 2019	10.47
19	29	7° 25' 56.02"S 112° 26' 39.79 "E	35°C	7	Low +	Dry +	14 Maret 2019	08.55
20	30	7° 24' 58.22"S 112° 25' 51.99"E	34°C	7	Low -	Dry +	17 Maret 2019	11.30
21	31	7° 38' 2.52"S 112° 26' 20.33 "E	38°C	7	Low	Wet	17 Maret 2019	13.17
22	32	7° 24' 36.77"S 112° 27' 3.22"E	31°C	7	Low -	Dry +	17 Maret 2019	14.26
23	33	7° 24' 40.52"S 112° 25' 46.24"E	33°C	7	Low -	Dry +	17 Maret 2019	12.02

No	Titik	Koordinat Pengambilan	Suhu (°C)	pH	Insentitas Cahaya	Kelembaban	Tanggal Pengambilan	Waktu Pengambilan (WIB)
24	34	7° 23' 46.05"S 112° 26' 30.62"E	32°C	7	Low	Dry +	20 Maret 2019	15.44
26	35	7° 23' 41.42"S 112° 25' 44.37 "E	30°C	7	Low -	Wet	20 Maret 2019	12.42
27	36	7° 23' 37.02"S 112° 25' 14.69 "E	32°C	7	Low -	Dry	20 Maret 2019	12.04
28	37	7° 23' 56.8"S 112° 25' 12.07 "E	32°C	7	Low	Normal	20 Maret 2019	12.20
29	38	7° 24' 31.87"S 112° 24' 34.94"E	36°C	7	Low	Dry +	15 Maret 2019	13.47
30	39	7° 24' 31"S 112° 25' 20.39"E	30°C	9	Low-	Dry +	17 Maret 2019	15.05
31	40	7° 24' 15.07"S 112° 25' 40.74"E	32°C	7	Low -	Dry +	17 Maret 2019	10.46
32	41	7° 24' 48.5"S 112° 25' 0.78"E	38°C	7	Low +	Dry +	17 Maret 2019	10.27

No	Titik	Koordinat Pengambilan	Suhu (°C)	pH	Insentitas Cahaya	Kelembaban	Tanggal Pengambilan	Waktu Pengambilan (WIB)
33	42	7° 24' 13.29"S 112° 24' 48.13"E	32°C	7	Low -	Dry +	15 Maret 2019	14.21
34	43	7° 29' 39.88"S 112° 24' 39.84"E	34°C	7	Low -	Wet	20 Maret 2019	10.19
35	44	7° 23' 8.40"S 112° 25' 49.02 "E	36°C	7	Low +	Dry +	20 Maret 2019	13.05
36	45	7° 22' 22.60"S 112° 25' 2.24"E	34°C	7	Low -	Wet	20 Maret 2019	14.26
37	46	7° 25' 21.52"S 112° 24' 30.05"E	32°C	7	Low	Wet	15 Maret 2019	10.52
38	47	7° 24' 31"S 112° 25' 20.39"E	36°C	7	Low +	Dry +	15 Maret 2019	09.25
39	48	7° 25' 40.66"S 112° 28' 4.42"E	35°C	7	Low -	Dry +	14 Maret 2019	13.07
40	49	7° 26' 33.06"S 112° 27' 24.12"E	28°C	7	Low -	Dry +	14 Maret 2019	08.25


No	Titik	Koordinat Pengambilan	Suhu (°C)	pH	Insentitas Cahaya	Kelembaban	Tanggal Pengambilan	Waktu Pengambilan (WIB)
41	51	7° 25' 13.42"S 112° 25' 50.92"E	36°C	9	Low -	Dry +	14 Maret 2019	10.21
42	52	7° 27' 20.28"S 112° 16' 7.4 "E	36°C	7	Low	Dry	12 Maret 2019	10.17
45	53	7° 27' 15.2"S 112° 26' 26.24"E	33°C	7	Low	Wet	12 Maret 2019	10.00
43	54	7° 25' 11.74"S 112° 28' 17.95"E	34°C	7	Low -	Dry +	14 Maret 2019	12.44
44	55	7° 23' 37.42"S 112° 28' 38.62"E	35°C	7	Low	Normal	19 Maret 2019	13.40
46	56	7° 24' 28.02"S 112° 29' 29.45 "E	35°C	7	Low	Dry +	19 Maret 2019	11.06
47	57	7° 24' 41.83"S 112° 24' 8.82"E	36°C	7	Low	Dry +	15 Maret 2019	13.10
48	58	7° 25' 30.75"S 112° 24' 28.72"E	38°C	7	Low	Wet	15 Maret 2019	10.31

No	Titik	Koordinat Pengambilan	Suhu (°C)	pH	Insentitas Cahaya	Kelembaban	Tanggal Pengambilan	Waktu Pengambilan (WIB)
49	59	7° 24' 8.53"S 112° 24' 12.38"E	35°C	7	Low +	Dry +	17 Maret 2019	09.57
50	60	7° 23' 19.67"S 112° 24' 56.39 "E	34°C	8.5	Low +	Dry +	20 Maret 2019	11.03
51	61	7° 21' 51.54"S 112° 25' 1.13"E	31°C	7	Low -	Normal	20 Maret 2019	13.25
52	62	7° 22.5' 5.94"S 112° 28' 0.84"E	39°C	7	Low +	Dry +	19 Maret 2019	14.12
53	63	7° 23' 9.05"S 112° 26' 9.59"E	36°C	7	Low	Dry +	20 Maret 2019	14.45

Sumber : Dokumentasi Pribad

Keterannagan Pembacaan : *Opeartion Manual 4in1 Soil Survey Instrument*

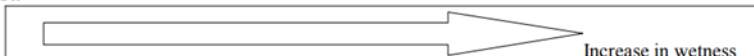
➤ Tingkat Intensitas Cahaya



LOW-	LOW	LOW+	NOR-	NOR	NOR+	HGH-	HGH	HGH+
very	low	much	slightly	normal	slightly	much	high	very

Gambar 4.5 Tingkat Intensitas Cahaya

➤ Tingkat Kelembaban



DRY+	DRY	NOR	WET	WET+
Very dry	dry	normal	wet	Very wet

Gambar 4.6 Tingkat Kelembaban

4.1.3 Ekstraksi Sampel Tanah (*Soil Extraction*)

Ekstraksi sampel dilakukan untuk merubah fase wujud sampel dari padat menjadi cair untuk dapat dianalisis lebih lanjut. Dari hasil ekstraksi ini akan diketahui konsenentrasi logam berat dalam sampel yang nantinya akan diuji menggunakan metode AAS (*Atomic Absorp Spectrophotometry*).

Terdapat dua metode ekstraksi yang akan dilakukan, yaitu metode ekstraksi EDTA dan metode ekstraksi pencernaan asam. Menurut Mengel and Kirkby (1987), untuk penentuan konsentrasi lagoam berat perlu dilakukan ekstraksi terlebih dahulu dengan dua metode ekstraksi yaitu ekstraksi EDTA untuk kandungan *Bio-Availablity* dari logam berat tersebut dan juga ekstraksi pencernaan asam (*Wet-Digestion*) untuk kanudngan total dari logam berat tersebut.

Holleman and Wiberg (2001) juga menerangkan bahwa untuk mengetahui konsentrasi logam berat dalam tanah bisa dilakukan ekstraksi menggunakan metode pencernaan asam (*Wet-Digestion*) saja tanpa menggunakan metode ekstraksi EDTA, akan tetapi metode ekstraksi EDTA nantinya akan menjadi toeri penghantar yang tepat untuk pemeilihan metode remediasi (fitoremediasi).

Pada penelitian kali ini, kegiatan pengestrakan sampel dilakukan sebanyak tiga replikasi untuk satu sampel pada masing-masing metode ekstraksi. Hal ini dilakukan untuk menguji kebasahan analisis mesin AAS yang nantinya akan diambil nilai *mean* (rata-rata) dari setiap replikasi tersebut. Berikut akan dijelaskan metode ekstraksi yang dilakukan.

A. Metode Pengestrakan EDTA

Metode pengestrakan EDTA adalah pengestraksian sampel tanah menggunakan larutan EDTA_{Na₂} (Holleman and Willburg, 2001). Larutan EDTA_{Na₂} merupakan salah satu *chelating agents* yang dapat mengikat logam Fe dan Pb (Aziz, 2015).

Tujuan dari ekstraksi ini adalah untuk menentukan nilai *Bio-Availablity* dari konsentrasi logam berat tersebut. Menurut Widianingrum *et al.* (2007), nilai *Bio-Availablity* dari konsentrasi logam berat yang dimaksud merupakan ketersediaan jumlah logam berat yang dapat diserap oleh makhluk hidup dan dapat menyebabkan respon toksik. Jhon and Levethal (1995) juga menambahkan bahwa bioavailabilitas yaitu sebagai fraksi dari total kandungan logam berat yang ketersediannya mudah diserap oleh biota, sehingga total kandungan logam berat tidak selalu berkorelasi positif dengan tingkat bioavailabilitas dari suatu logam berat. Pada tanah sendiri posisi nilai *Bio-Availablity* belum dapat dipastikan, akan tetapi kebanyakn nilai *Bio-Availablity* terdapat pada sekitaran kulit permukaan tanah dan sebagian kecil terdapat didalam pori-pori tanah (Verloo, 1993).

Untuk langkah-langkah pengesktraksian telah dijelaskan sebelumnya pada sub-bab 3.6.4 bagian A. Prinsip kerja ekstraksi EDTA adalah berpegang pada pengikatan logam Pb oleh larutan EDTA melalui proses pengocokan merata menggunakan *rotator shaker* dan pemisahan zat terlarut - zat tidak terlarut menggunakan *centrifuge*, serta penyaringan menggunakan kertas filter dengan mesin *vacuum pump* (Queauviller, 1998). Dokumentasi kegiatan ekstraksi EDTA dapat dilihat pada bagian lampiran.

Setelah diekstrak, sampel akan dianalisis menggunakan metode AAS (*Atomic Absorp Spectrophotometry*). Total sampel hasil ekstraksi yang akan dianalisis yaitu sebanyak 159 buah sampel. Pada Tabel 4.2 berikut akan ditampilkan nilai konsentrasi *Bio-Availablity* logam berat timbal (Pb).

Tabel 4.2 Konsentrasi (*Bio-Availablity*) Logam Berat Timbal (Pb).

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av (mg/L)	STD	Pb (mg/kg)
6	1	1,588	1,55	0,08	15,53
	2	1,459			
	3	1,611			
7	1	0,549	0,74	0,17	7,40
	2	0,814			
	3	0,856			
8	1	1,516	1,40	0,10	14,02
	2	1,315			
	3	1,375			
13	1	0,277	0,31	0,03	3,09
	2	0,337			
	3	0,314			
14	1	1,994	2,00	0,01	19,99
	2	2,006			
	3	1,997			
15	1	1,586	1,58	0,04	15,80
	2	1,542			
	3	1,613			
16	1	0,391	0,43	0,05	4,31
	2	0,413			
	3	0,488			
17	1	0,64	0,92	0,24	9,17
	2	1,02			
	3	1,09			
18	1		1,35	0,05	13,45
	2	1.311			

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av (mg/L)	STD	Pb (mg/kg)
	3	1,379			
19	1	0,47	0,74	0,26	7,43
	2	0,776			
	3	0,982			
20	1	0,115	0,09	0,05	0,87
	2	0,024			
	3	0,121			
21	1	0,408	0,32	0,13	3,18
	2	0,171			
	3	0,374			
22	1	0,325	0,23	0,10	2,29
	2	0,135			
	3	0,228			
23	1	1,401	1,37	0,03	13,68
	2	1,353			
	3	1,349			
24	1	0,8	0,55	0,21	5,55
	2	0,405			
	3	0,459			
25	1	1,731	1,65	0,08	16,45
	2	1,638			
	3	1,567			
26	1	0,363	0,42	0,05	4,24
	2	0,461			
	3	0,447			
27	1	0,189	0,09	0,09	0,89
	2	0,052			

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av (mg/L)	STD	Pb (mg/kg)
	3	0,026			
28	1	0,444	0,42	0,03	4,23
	2	0,387			
	3	0,438			
29	1	0,787	0,88	0,12	8,80
	2	0,843			
	3	1,01			
30	1	1,729	1,70	0,03	16,98
	2	1,705			
	3	1,661			
31	1	0,166	0,25	0,07	2,45
	2	0,255			
	3	0,315			
32	1	1,581	1,51	0,07	15,06
	2	1,504			
	3	1,432			
33	1	0,113	0,15	0,05	1,45
	2	0,12			
	3	0,203			
34	1	0,114	0,10	0,05	1,04
	2	0,054			
	3	0,145			
35	1	0,525	0,74	0,20	7,41
	2	0,78			
	3	0,918			
36	1	0,444	0,31	0,12	3,07
	2	0,277			

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av (mg/L)	STD	Pb (mg/kg)
	3	0,2			
37	1	1,763	1,65	0,10	16,46
	2	1,601			
	3	1,574			
38	1	0,189	0,22	0,05	2,21
	2	0,194			
	3	0,281			
39	1	1,449	1,39	0,05	13,91
	2	1,381			
	3	1,343			
40	1	0,164	0,20	0,03	2,03
	2	0,217			
	3	0,228			
41	1	0,093	0,10	0,04	1,04
	2	0,072			
	3	0,146			
42	1	0,807	1,17	0,47	11,71
	2	0,999			
	3	1,706			
43	1	1,804	1,67	0,11	16,74
	2	1,62			
	3	1,598			
44	1	1,417	1,32	0,09	13,19
	2	1,247			
	3	1,292			
45	1	0,147	0,21	0,07	2,15
	2	0,282			

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av (mg/L)	STD	Pb (mg/kg)
	3	0,215			
46	1	0,519	0,71	0,18	7,14
	2	0,742			
	3	0,882			
47	1	1,466	1,47	0,02	14,69
	2	1,49			
	3	1,452			
48	1	1,82	1,43	0,34	14,26
	2	1,218			
	3	1,241			
49	1	0,505	0,44	0,08	4,37
	2	0,352			
	3	0,455			
51	1	0,634	0,55	0,09	5,47
	2	0,464			
	3	0,543			
52	1	3,813	3,33	0,43	33,25
	2	3,168			
	3	2,994			
53	1	1,326	1,68	0,31	16,83
	2	1,852			
	3	1,872			
54	1	1,437	1,44	0,04	14,36
	2	1,397			
	3	1,473			
55	1	0,547	0,75	0,20	7,46
	2	0,745			

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av (mg/L)	STD	Pb (mg/kg)
	3	0,946			
56	1	0,856	1,11	0,23	11,05
	2	1,141			
	3	1,318			
57	1	1,764	1,52	0,21	15,17
	2	1,384			
	3	1,403			
58	1	0,332	0,26	0,08	2,63
	2	0,181			
	3	0,276			
59	1	0,367	0,38	0,05	3,77
	2	0,428			
	3	0,337			
60	1	0,288	0,16	0,12	1,59
	2	0,124			
	3	0,064			
61	1	0,573	0,43	0,13	4,28
	2	0,359			
	3	0,353			
62	1	1,396	1,37	0,03	13,70
	2	1,346			
	3	1,369			
63	1	1,646	1,61	0,04	16,06
	2	1,591			
	3	1,58			

Sumber : Hasil Perhitungan

B. Metode Pencernaan Asam (*Wet-Digestion*)

Metode pencernaan asam adalah pengekstrakan sampel tanah dengan menggunakan campuran larutan asam kuat seperti *Aqua Regia* (USEPA, 1996). *Aqua Regia* adalah campuran asam klorida pekat dan asam nitrat pekat dengan perbandingan volume 3:1 mampu melarutkan logam-logam mulia seperti emas (Ag) dan platina (Pt), dan juga logam berat seperti timbal (Pb) dan besi (Fe) (Sumardi, 1981).

Tujuan dari pencernaan asam (*Wet-Digestion*) ini adalah untuk mengukur nilai total dari konsentrasi logam berat tersebut (Raimon, 1993). Nilai total konsentrasi logam berat secara teori telah termasuk nilai dari *Bio-Availability* logam berat, dengan kata lain nilai total konsentrasi lebih besar daripada nilai *Bio-Availability* akan tetapi hubungan nilai kedua fraksi ini tidak selalu positif (Jhon and Levetal, 1995). Verloo (1993), juga menerangkan sama seperti halnya dengan letak nilai *Bio-Availablity*, letak nilai total konsentrasi logam berat belum dapat dipastikan akan tetapi karena ini adalah nilai total maka konsentrasi logam berat tersebar diseluruh komponen tanah dengan nilai dominan berada didalam pori-pori tanah.

Untuk langkah-langkah pengekstraksian telah dijelaskan pada sub-bab 3.6.4 bagian B. Prinsip kerja pengekstraksian ini adalah dengan pencernaan campuran asam (*Aqua Regia*) oleh tanah yang akan terikat oleh asam tersebut dan juga pemanasan sampel dengan mesin *Fuume Hot Block* serta penyaringan sampel menggunakan kertas filter dengan mesin *vacuum pump*. Dokumentasi kegiatan ekstraksi pencernaan asam (*Wet Digestion*) dapat dilihat pada bagian lampiran.

Setelah diekstrak, sampel akan dianalisis menggunakan metode AAS (*Atomic Absorp Spectrophotometry*). Total sampel hasil ekstraksi yang akan dianalisis yaitu sebanyak 159 buah sampel. Pada Tabel 4.3 berikut akan ditampilkan nilai total konsentrasi logam berat timbal (Pb).

Tabel 4.3 Total Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb).

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av	STD	Pb (mg/kg)
6	1	1,576	1,59	0,01	39,68
	2	1,594			
	3	1,592			
7	1	0,094	0,13	0,04	3,13
	2	0,17			
	3	0,112			
8	1	1,48	1,45	0,06	36,13
	2	1,376			
	3	1,48			
13	1	1,769	1,75	0,06	43,83
	2	1,691			
	3	1,8			
14	1	0,493	0,58	0,09	14,52
	2	0,571			
	3	0,678			
15	1	0,37	0,39	0,01	9,68
	2	0,394			
	3	0,397			
16	1	0,258	0,26	0,01	6,49
	2	0,247			
	3	0,274			
17	1	1,651	1,62	0,03	40,48
	2	1,586			
	3	1,621			
18	1	1,109	1,11	0,01	27,78
	2	1,103			
	3	1,121			

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av	STD	Pb (mg/kg)
19	1	1,834	1,78	0,05	44,47
	2	1,765			
	3	1,737			
20	1	0,459	0,45	0,02	39,68
	2	0,427			
	3	0,453			
21	1	0,485	0,51	0,03	12,63
	2	0,536			
	3	0,494			
22	1	0,228	0,28	0,04	6,91
	2	0,306			
	3	0,295			
23	1	1,648	1,63	0,03	40,63
	2	1,635			
	3	1,593			
24	1	0,564	0,61	0,07	15,33
	2	0,694			
	3	0,582			
25	1	1,668	1,52	0,13	37,99
	2	1,414			
	3	1,477			
26	1	1,816	1,83	0,02	45,76
	2	1,85			
	3	1,825			
27	1	0,332	0,34	0,02	8,51
	2	0,358			
	3	0,331			
28	1	0,311	0,32	0,04	8,04

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av	STD	Pb (mg/kg)
	2	0,363			
	3	0,291			
29	1	2,006	1,95	0,05	48,78
	2	1,933			
	3	1,914			
30	3	1,361	1,38	0,02	34,47
	2	1,37			
	1	1,405			
31	1	1,231	1,21	0,02	30,33
	2	1,2			
	3	1,209			
32	1	1,502	1,46	0,05	36,39
	2	1,408			
	3	1,457			
33	1	0,633	0,59	0,04	14,72
	2	0,585			
	3	0,548			
34	1	0,177	0,17	0,00	4,35
	2	0,173			
	3	0,172			
35	1	0,41	0,41	0,04	10,18
	2	0,447			
	3	0,365			
36	1	0,207	0,18	0,04	4,38
	2	0,185			
	3	0,133			
37	1	1,525	1,57	0,04	39,19
	2	1,585			

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av	STD	Pb (mg/kg)
	3	1,593			
38	1	1,462	1,48	0,02	37,03
	2	1,496			
	3	1,486			
39	1	1,471	1,46	0,01	36,53
	2	1,465			
	3	1,448			
40	1	0,238	0,21	0,04	5,26
	2	0,164			
	3	0,229			
41	1	0,315	0,35	0,04	8,77
	2	0,351			
	3	0,386			
42	1	1,569	1,64	0,06	40,98
	2	1,667			
	3	1,681			
43	1	1,672	1,52	0,18	37,90
	2	1,559			
	3	1,317			
44	1	1,469	1,48	0,01	36,98
	2	1,486			
	3	1,483			
45	1	0,268	0,26	0,02	6,40
	2	0,236			
	3	0,264			
46	1	1,43	1,54	0,10	38,61
	2	1,628			
	3	1,575			

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av	STD	Pb (mg/kg)
47	1	1,364	1,29	0,07	32,21
	2	1,258			
	3	1,243			
48	1	1,411	1,40	0,02	34,95
	2	1,412			
	3	1,371			
49	1	0,428	0,45	0,03	11,18
	2	0,438			
	3	0,476			
51	1	0,529	0,67	0,17	16,76
	2	0,627			
	3	0,855			
52	1		3,24	0,12	80,95
	2	3,324			
	3	3,152			
53	1	1,176	1,13	0,24	28,16
	2	0,868			
	3	1,335			
54	1	1,657	1,56	0,08	39,07
	2	1,518			
	3	1,513			
55	1	1,599	1,57	0,03	39,26
	2	1,572			
	3	1,54			
56	1	1,975	1,90	0,08	47,38
	2	1,811			
	3	1,899			
57	1	1,649	1,52	0,13	37,97

Titik Sampel	Replicate	Pb (mg/L)	Av	STD	Pb (mg/kg)
	2	1,52			
	3	1,387			
58	1	0,148	0,19	0,04	4,79
	2	0,231			
	3	0,196			
59	1	1,748	1,74	0,01	43,56
	2	1,73			
	3	1,749			
60	3	0,334	0,36	0,07	9,04
	2	0,313			
	1	0,438			
61	1	1,407	1,41	0,04	35,30
	2	1,452			
	3	1,377			
62	1	1,1	1,12	0,10	28,00
	2	1,027			
	3	1,233			
63	1	0,289	0,31	0,03	7,69
	2	0,337			
	3	0,297			

Sumber : Hasil Perhitungan

C. Perbandingan Nilai Konsentrasi Logam Timbal (Pb).

Seperti yang dijelaskan Jhon and Levethal (1995) sebelumnya, bahwa secara teori nilai total konsentrasi logam berat dari ekstraksi pencernaan asam lebih besar daripada nilai *Bio-Availablity* dari ekstraksi EDTA dikarenakan nilai *Bio-Availablity* merupakan bagian dari nilai total konsentrasi logam berat. Akan tetapi, pernyataan tersebut tidak selalu positif atau bisa saja nilai *Bio-Availablity* lebih besar daripada nilai total konsentrasi dikarenakan beberapa faktor eksternal seperti *error* saat ekstraksi atau kondisi sampel yang tidak

terlalu bagus. Pada Tabel 4.4 berikut akan disajikan nilai konsentrasi logam berat dari kedua proses ekstraksi.

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb)

Titik Sampel	Pb-EDTA (mg/L)	Pb-Wet Digestion (mg/L)	Pb-EDTA (mg/kg)	Pb-Wet Digestion (mg/kg)
6	1,55	1,59	15,53	39,68
7	0,74	0,13	7,40	3,13
8	1,40	1,45	14,02	36,13
13	0,31	1,75	3,09	43,83
14	2,00	0,58	19,99	14,52
15	1,58	0,39	15,80	9,68
16	0,43	0,26	4,31	6,49
17	0,92	1,62	9,17	40,48
18	1,35	1,11	13,45	27,78
19	0,74	1,78	7,43	44,47
20	0,09	0,45	0,87	11,16
21	0,32	0,51	3,18	12,63
22	0,23	0,28	2,29	6,91
23	1,37	1,63	13,68	40,63
24	0,55	0,61	5,55	15,33
25	1,65	1,52	16,45	37,99
26	0,42	1,83	4,24	45,76
27	0,09	0,34	0,89	8,51
28	0,42	0,32	4,23	8,04
29	0,88	1,95	8,80	48,78
30	1,70	1,38	16,98	34,47
31	0,25	1,21	2,45	30,33
32	1,51	1,46	15,06	36,39
33	0,15	0,59	1,45	14,72

Titik Sampel	Pb-EDTA (mg/L)	Pb-Wet Digestion (mg/L)	Pb-EDTA (mg/kg)	Pb-Wet Digestion (mg/kg)
34	0,10	0,17	1,04	4,35
35	0,74	0,41	7,41	10,18
36	0,31	0,18	3,07	4,38
37	1,65	1,57	16,46	39,19
38	0,22	1,48	2,21	37,03
39	1,39	1,46	13,91	36,53
40	0,20	0,21	2,03	5,26
41	0,10	0,35	1,04	8,77
42	1,17	1,64	11,71	40,98
43	1,67	1,52	16,74	37,90
44	1,32	1,48	13,19	36,98
45	0,21	0,26	2,15	6,40
46	0,71	1,54	7,14	38,61
47	1,47	1,29	14,69	32,21
48	1,43	1,40	14,26	34,95
49	0,44	0,45	4,37	11,18
51	0,55	0,67	5,47	16,76
52	3,33	3,24	33,25	80,95
53	1,68	1,13	16,83	28,16
54	1,44	1,56	14,36	39,07
55	0,75	1,57	7,46	39,26
56	1,11	1,90	11,05	47,38
57	1,52	1,52	15,17	37,97
58	0,26	0,19	2,63	4,79
59	0,38	1,74	3,77	43,56
60	0,16	0,36	1,59	9,04
61	0,43	1,41	4,28	35,30

Titik Sampel	Pb-EDTA (mg/L)	Pb-Wet Digestion (mg/L)	Pb-EDTA (mg/kg)	Pb-Wet Digestion (mg/kg)
62	1,37	1,12	13,70	28,00
63	1,61	0,31	16,06	7,69

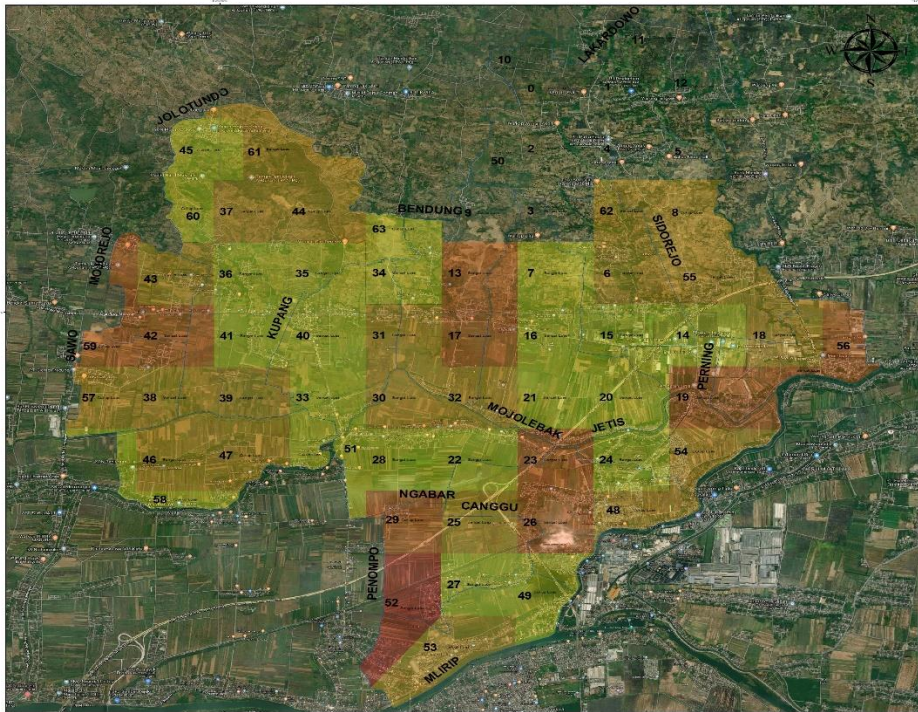
Sumber : Hasil Perhitungan

Dari tabel diatas dapat dilihat terdapat 4 buah sampel (bertanda kuning) yang nilai *Bio-Availablity* (mg/kg) nya lebih besar daripada nilai total konsentrasi logam berat (mg/kg). Hal ini disebabkan adanya *human error* (kesalahan sendiri) pada saat melakukan eekstraksi sampel dan juga kondisi sampel yang tidak terlalu bagus saat akan diekstraksi. Untuk grafik perbandingan nilai konsentrasi dapat dilihat pada bagian Lampiran.

4.1.4 Pembuatan Peta Persebaran Logam Timbal (Pb).

Peta persebaran logam timbal (Pb) dibuat berdasarkan nilai konsentrasi total logam berat hasil dari ekstraksi pencernaan asam (*Wet-Digestion*). Pembuatan peta persebaran logam timbal (Pb) ini dibuat menggunakan perangkat lunak *ArcGIS (ArcMap 10.3)*. Prinsip kerja dalam pembuatan peta perserbaran logam timbal (Pb) ini adalah mengkompilasikan data nilai konsentrasi total logam berat dari *Microsoft Excel* dan dikombinasikan dengan *file project* Peta Transek yang telah dibuat sebelumnya dengan *ArcGIS (ArcMap 10.3)*. Tahapan-tahapan dalam pembuatan peta persebaran logam timbal (Pb) dapat dilihat pada bagian lampiran. Peta Persebaran Logam Timbal (Pb) dapat dilihat pada Gambar 4.7 dihalaman selanjutnya.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
 SURABAYA
 2019

JUDUL PETA:
PETA PERSEBARAN LOGAM TIMBAL (Pb)
DI KECAMATAN JETIS
KABUPATEN MOJOKERTO

SKALA:
 1:20.000
 0 0,35 0,7 1,4 2,1 2,8 Kilometers

DRAFTER:
ANANDA ALFAN MAULANA
0321154000108

LEGENDA
 Dilansir Melakukan Pengambilan Sampel
 Konsentrasi 0 - 20 mg/kg
 Konsentrasi 20 - 40 mg/kg
 Konsentrasi 40 - 60 mg/kg
 Konsentrasi >60 mg/kg
 Kotak Transek
 Batas Wilayah

INSET
 KABUPATEN BOJONEGORO: KABUPATEN DI PASURUAN, KABUPATEN DI SURABAYA
 KABUPATEN DI ANGGREK, KABUPATEN DI GRESIK, KABUPATEN DI MOJOKERTO, KABUPATEN DI SUKSES
 KABUPATEN DI BOJONEGORO, KABUPATEN DI BOJONEGORO, KABUPATEN DI BOJONEGORO, KABUPATEN DI BOJONEGORO
 KABUPATEN DI JOMBANG, KABUPATEN DI JOMBANG, KABUPATEN DI JOMBANG, KABUPATEN DI JOMBANG
 KABUPATEN DI BLITZ, KABUPATEN DI BLITZ, KABUPATEN DI BLITZ, KABUPATEN DI BLITZ
 KABUPATEN DI KEDIRI, KABUPATEN DI KEDIRI, KABUPATEN DI KEDIRI, KABUPATEN DI KEDIRI
 KABUPATEN DI SUKSES, KABUPATEN DI SUKSES, KABUPATEN DI SUKSES, KABUPATEN DI SUKSES

Gambar 4.7 Peta Persebaran Logam Timbal (Pb) di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Berdasarkan peta persebaran logam timbal (Pb) pada Gambar 4.7, terlihat logam timbal (Pb) tersebar keseluruhan wilayah Kecamatan Jetis dengan konsentrasi yang beragam. Konsentrasi terendah berada pada titik sampel 7 dengan konsentrasi sebesar 3,13 mg/kg, sedangkan konsentrasi tertinggi berada pada titik sampel 52 dengan konsentrasi sebesar 80,95 mg/kg. Untuk titik sampel 0, 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, dan 50 tidak memiliki konsentrasi dikarenakan tidak dilakukan pengambilan sampel. Pengambilan sampel tidak dilakukan pada titik-titik itu dikarenakan terkendala dalam masalah perizinan wilayah cakupan penelitian oleh Pemerintah Kabupaten Mojokerto dan Kecamatan Jetis sendiri. Oleh karena itu, pada titik-titik tersebut tidak diberi indikator warna besaran konsentrasi logam timbal (Pb).

Pada Gambar 4.7 itu dilengkapi juga dengan kategori indikator warna untuk setiap rentang konsentrasi dari titik-titik sampel. Untuk rentang konsentrasi terendah dengan konsentrasi dari 0 – 20 mg/kg diberi indikator warna kuning. Untuk rentang konsentrasi ini berada pada titik sampel 7, 14, 15, 16, 20, 21, 22, 24, 27, 28, 33, 34, 35, 36, 40, 41, 45, 49, 51, 58, 60, dan 62. Bisa dilihat dengan merujuk pada Gambar 4.2 dan tata guna lahan dari BAPPEDA Kabupaten Mojokerto, titik-titik sampel tersebut mayoritas merupakan kawasan perwasahan gundul yang letaknya jauh dari permukiman warga. Damanik *et al.* (2010) menjelaskan bahwa tanah sawah gundul lebih banyak mengandung unsur N (nitrogen), dikarenakan pada tanah sawah gundul tidak ada lagi pemakaian pestisida sebagai faktor akumulator logam berat dan hanya tertinggal unsur hara berupa nitrogen murni yang berasal dari tanah tersebut.

Untuk rentang konsentrasi selanjutnya dengan konsentrasi dari 20 – 40 mg/kg diberi indikator warna oranye muda. Untuk rentang konsentrasi ini berada pada titik sampel 6, 8, 18, 25, 30, 31, 32, 37, 38, 39, 43, 44, 46, 47, 48, 53, 54, 55, 57, 61, dan 62. Bisa dilihat dengan merujuk pada Gambar 4.2 dan tata guna lahan dari BAPPEDA Kabupaten Mojokerto, titik-titik sampel tersebut mayoritas merupakan kawasan persawahan hijau dan kawasan sekitar jalan. Kurnia *et al.* (2009) menjelaskan, daerah persawahan hijau dapat menjadi faktor akumulator logam berat dikarenakan masih dapat menyerap logam berat dari sekitar persawahan.

Untuk rentang konsentrasi selanjutnya dengan konsentrasi 40 – 60 mg/kg diberi indikator warna oranye. Untuk rentang konsentrasi ini berada pada titik sampel 13, 17, 19, 23, 26, 29, 42, 56, dan 59. Bisa dilihat dengan merujuk pada Gambar 4.2 dan tata guna lahan dari BAPPEDA Kabupaten Mojokerto, titik-titik sampel tersebut mayoritas merupakan kawasan persawahan produktif yang berdampingan juga dengan permukiman padat penduduk. Jones and Jarvis (1981), menerangkan 10% bahan dari penggunaan pestisida untuk keperluan produksi dalam kegiatan persawahan mengandung logam berat timbal (Pb) dan terakumulasi aktif didalam tanah seiring penggunaannya.

Untuk rentang konsentrasi terakhir dengan konsentrasi lebih dari 60 mg/kg diberi indikator warna oranye gelap. Untuk rentang konsentrasi ini berada pada titik sampel 52 saja. Bisa dilihat dengan merujuk pada Gambar 4.2 dan tata guna lahan dari BAPPEDA Kabupaten Mojokerto, titik sampel tersebut merupakan kawasan permukiman padat penduduk yang bersebelahan dengan kegiatan industri besar dan juga terdapat beberapa lahan persawahan yang masih produktif. Kegiatan industri juga dapat menimbulkan akumulasi pencemaran logam berat timbal (Pb) melalui aktivitas-aktivitas didalamnya (Anonym, 2010).

Kegiatan didalamnya antara lain yaitu lalu-lalang kendaraan berat operasional industri tersebut. Pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar kendaraan bermotor menghasilkan emisi gas yang mengandung timbal dan kemudian teakumulasi di udara lalu jatuh ke permukaan tanah (Gusnita, 2010). Pada titik sampel 52 disebutkan merupakan kawasan padat permukiman penduduk. Limbah hasil kegiatan domestik yang berasal dari permukiman penduduk berupa limbah cair yang juga mengandung timbal dan dalam pembuangannya dapat mengenai badan air atau air permukaan serta dapat mengenai permukaan tanah lalu mengendap didalam (McCabe, 1950).

Untuk mengetahui bahwa kawasan Kecamatan Jetis merupakan kawasan tercemar, perlu dilakukan pengecekan terhadap baku mutu yang ada pada Peraturan Pemerintah Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun. Pada Tabel 4.5 ditampilkan baku mutu tanah terkontaminasi limbah berbahaya dan beracun.

Tabel 4.5 Nilai Baku Karakteristik Beracun dan Total Konsentrasi Untuk Penetapan Pengelolaan Tanah Terkontaminasi Limbah Berbahaya dan Beracun

ZAT PENECAMAR	TCLP-A	TK-A	TCLP-B	TK-B	TCLP-C	TK-C
Satuan (berat kering)	(mg/L)	(mg/kg)	(mg/L)	(mg/kg)	(mg/L)	(mg/kg)
PARAMETER WAJIB						
ANORGANIK						
Antimoni, Sb	6	300	1	75	0,4	3
Arsen, As	3	2000	0,5	500	0,2	20
Barium, Ba	210	25000	35	6250	14	160
Berilium, Be	4	4000	0,5	100	0,2	1,1
Boron, B	150	60000	25	15000	10	36
Kadmium, Cd	0,9	400	0,15	100	0,06	3
Krom valensi enam, Cr ⁶⁺	15	2000	2,5	500	1	1
Tembaga, Cu	60	3000	10	750	4	30
Timbal, Pb	3	6000	0,5	1500	0,2	300
Merkuri, Hg	0,3	300	0,05	75	0,02	0,3
Molibdenum, Mo	21	4000	3,5	1000	1,4	40
Nikel, Ni	21	12000	3,5	3000	1,4	60
Selenium, Se	3	200	0,5	50	0,2	10
Perak, Ag	40	720	5	180	2	10
<i>Tributyltin oxide</i>	0,4	10	0,05	2,5	0,02	R
Seng, Zn	300	15000	50	3750	20	120
ANION						
Klorida, Cl ⁻	75000	N/A	12500	N/A	5000	N/A
Sianida (total), CN ⁻	21	10000	3,5	2500	1,4	50
Fluorida, F ⁻	450	40000	75	10000	30	450
Iodida, I ⁻	40	N/A	5	N/A	2	N/A
Nitrat, NO ₃ ⁻	15000	N/A	2500	N/A	1000	N/A

Sumber : PP No. 101 Tahun 2014

Karakteristik beracun dalam tabel tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

- A. Jika konsentrasi logam timbal (Pb) diatas 3 mg/L pada suatu media tanah maka tergolong TCLP - A.
- B. Jika media tanah memiliki konsentrasi logam timbal (Pb) diatas 6000 mg/kg masuk kedalam kategori TK - A.
- C. Jika konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada tanah diatas 0,5 mg/L tergolong kategori TCLP - B.
- D. Jika media tanah terkandung konsentrasi logam timbal (Pb) sebesar 1500 mg/kg atau lebih maka masuk ke dalam TK-B.
- E. Jika konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada tanah diatas 0,2 mg/L maka tergolong kedalam TCLP – C.
- F. Jika media tanah dengan konsentrasi Logam timbal (Pb) lebih besar dari 300 mg/kg maka tergolong ke dalam TK – C.

Dapat dilihat dari penjelasan diatas dan juga merujuk kembali pada tabel hasil ekstraksi pada Tabel 4.3, titik sampel yang melebihi baku mutu TCLP-A (3 mg/L) yaitu kawasan titik sampel 52 dengan konsentrasi 3,258 mg/L dengan kata lain kawasan tersebut telah tercemar logam berat timbal (Pb). Dilihat dari tingkat

konsentrasi untuk media tanah nya, seluruh titik sampel masih dibawah nilai baku mutu terendah yaitu TK-C (300 mg/kg) dengan nilai tingkat konsentrasi tertinggi berada pada titik sampel 52 juga yang memiliki konsentrasi sebesar 80,95 mg/kg. Dari nilai konsentrasi yang masih dibawah baku mutu, kawasan tersebut tidak dapat dikatakan tercemar pada baku mutu TK-C yang menandakan perbedaan kategori tercemar dengan baku mutu TCLP-A. Namun, nilai pada baku mutu tersebut merupakan nilai yang diukur langsung pada sumber pencemar sedangkan pada penelitian ini pengukuran dilaksanakan disekitar sumber pencemar dengan kata lain dengan kawasan pengukuran yang tidak langsung pada sumber pencemar memiliki konsentrasi yang cukup tinggi apalagi konsentrasi langsung pada sumber pencemar.

Pasal 29 pada PP No.101 Tahun 2014 dijelaskan mengenai pengelolaan tanah tercemar limbah B3 sesuai karakteristik beracun pada Tabel sebagai berikut :

- A. Jika konsentrasi zat pencemar lebih besar dari TCLPA dan/atau TK-A, tanah dimaksud wajib dikelola sesuai dengan Pengelolaan Limbah B3 kategori 1; b.
- B. Jika konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-A dan/atau TK-A dan lebih besar dari TCLP-B dan/atau TK-B, tanah dimaksud wajib dikelola sesuai dengan pengelolaan limbah B3 kategori 2;
- C. Jika konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-B dan/atau TK-B dan lebih besar dari TCLP-C dan/atau TK-C, tanah dimaksud wajib dikelola sesuai dengan pengelolaan limbah non-B3; dan
- D. Jika konsentrasi zat pencemar sama dengan atau lebih kecil dari TCLP-C dan TK-C, tanah dimaksud dapat digunakan sebagai tanah pelapis dasar.

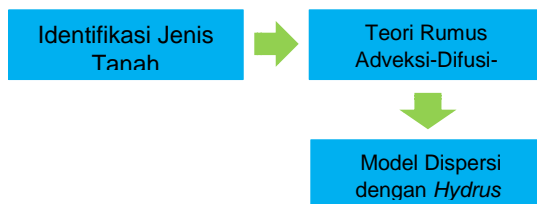
Berdasarkan pernyataan dan penjelasan diatas, kawasan Kecamatan Jetis dengan nilai konsentrasi timbal (Pb) tertinggi yaitu 80,95 mg/Kg masih berada dibawah baku mutu tingkat konsentrasi C (300 mg/Kg). Oleh karena itu, tanah dikawasan Kecamatan Jetis masih belum tercemar logam timbal (Pb) dan masih dapat digunakan sebagai tanah lapisan dasar. Akan tetapi untuk beberapa tahun kedepan indikasi konsentrasi logam timbal akan terus meningkat, jadi tidak ada salahnya untuk tetap waspada

dan mempersiapkan teknologi apa yang tepat untuk meremediasi tanah tercemar logam timbal (Pb).

Logam timbal (Pb) dengan nilai konsentrasi yang masih dibawah baku mutu tentunya terbilang masih aman untuk lingkungan. Logam timbal (Pb) dalam jumlah dan tempat tersedia yang tepat mempunyai beberapa kegunaan. Logam timbal banyak digunakan sebagai bahan penguat. Alloway *et al* (1997) dalam bukunya menjelaskan kegunaan atau manfaat logam timbal (Pb) untuk kepentingan umum yaitu logam timbal (Pb) dapat digunakan sebagai penguat bahan pipa PVC untuk distribusi air minum oleh perusahaan pendistribusian air minum. Kegunaan lainnya yaitu digunakan untuk pelapukan atap dan kelongsongan dikarenakan kemampuan logam timbal untuk menahan penetrasi air. Manfaat lainnya yaitu sebagai perisai radiasi sinar-x dan juga sebagai isolator atau pendingin mesin nuklir.

4.2 Pembuatan Model Dispersi Pencemaran Logam Timbal (Pb) dalam Tanah

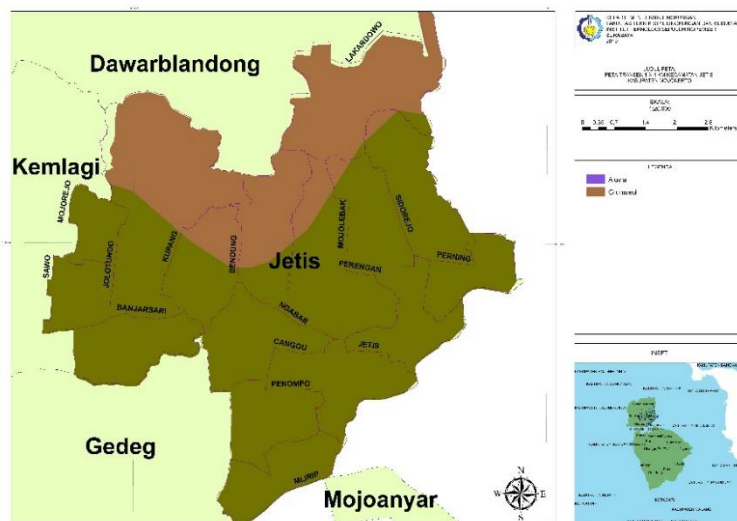
Dalam pembuatan model dispersi pencemaran logam timbal (Pb) dalam tanah dilalui beberapa tahapan pengerjaan. Tahapan pengerjaan dimulai dari identifikasi jenis tanah pada Kecamatan Jetis, dilanjutkan dengan pembahasan rumus numerik adveksi-difusi (dispersi horizontal), dan pembuatan model dispersi dengan perangkat lunak *Hydrus* (dispersi vertikal). *Flow Chart* pada Gambar 4.8 berikut pengerjaan pembuatan model dispersi pencemaran logam timbal (Pb) dalam tanah.



Gambar 4.8 *Flow Chart* Tahapan Pengerjaan Pembuatan Model Dispersi Pencemaran Logam Timbal (Pb) dalam Tanah

4.2.1 Identifikasi Jenis Tanah Kecamatan Jetis

Berdasarkan data dari BAPEDA Kabupaten Mojokerto, dijelaskan bahwa jenis tanah di Kecamatan Jetis terbagi menjadi dua jenis yaitu tanah Grumusol (Vertisol) dan tanah Aluvial. Pada Gambar 4.9 berikut ditampilkan persebaran jenis tanah di Kecamatan Jetis.



Gambar 4.9 Peta Persebaran Jenis Tanah Kecamatan Jetis

Dari peta tersebut dapat dilihat, warna hijau melambangkan tanah berjenis Grumusol (Vertisol) dan warna coklat melambangkan tanah berjenis Aluvial. Tanah Grumusol mencakup hampir $\frac{3}{4}$ bagian wilayah Kecamatan Jetis dan tanah Aluvial mencakup sisa wilayah Kecamatan Jetis.

Desa / Kelurahan di Kecamatan Jetis dengan jenis tanah Grumusol adalah desa Mlirip, Penompo, Canggung, Jetis, Banjarsari, Jolotundo, Pening, sebagian besar desa Mojolebak, Pereng, Sidorejo, sebagian kecil desa Ngabar, Bendung, dan setengah desa Kupang. Desa / Kelurahan di Kecamatan Jetis dengan jenis tanah Aluvial adalah desa Lakardowo, sebagian besar desa

Ngabar, Kupang, sebagian kecil desa Perengan, Mojolebak, Bendung, dan setengah desa Kupang.

A. Tanah Grumusol (Vertisol)

Vertisol atau Grumusol merupakan tanah yang berwarna abu-abu gelap hingga kehitaman dengan tekstur liat, mempunyai *slickenside* dan rekahan yang secara periodik dapat membuka dan menutup.

Tanah Vertisol terbentuk dari bahan sedimen mengandung mineral smektit dalam jumlah tinggi. Tanah Vertisol terbentuk melalui dua proses utama yaitu proses terakumulasinya mineral 2:1 (smektit) dan proses mengembang dan mengerut yang terjadi secara periodik. Sehingga, dari dua proses utama ini membentuk *slickenslide* atau relief miko gilgai (Van Wambeke, 1992).

Menurut Driessen and Dudal (1989), tanah Vertisol terbentuk di daerah datar, cekungan hingga berombak. Tanah Vertisol tergolong tanah yang kaya akan hara karena mempunyai cadangan sumber hara yang tinggi dengan tukar kation tinggi dan pH netral hingga alkali (Deckers *et al.*, 2001).

B. Tanah Aluvial

Tanah Aluvial adalah tanah yang dibentuk dari lumpur sungai yang mengendap di dataran rendah yang memiliki sifat tanah yang subur dan cocok untuk lahan pertanian (Soepraptohardjo, 1976).

Hadjowigeno (2007) menerangkan, tanah aluvial memiliki ciri-ciri kadar liat tanah dari 60%, struktur remah sampai gumpal, warna tanah seragam dengan batas-batas horizon yang kabur, memiliki profil tanah yang dalam (lebih dari 150 cm) dan umumnya memiliki epipedon umbrik dan horizon kambik. Tanah Aluvial ini tergolong tanah yang masih muda, belum mengalami perkembangan, berasal dari bahan induk aluvium, tekstur beraneka ragam, belum terbentuk struktur, konsistensi dalam keadaan basah lekat, pH bermacam-macam, kesuburan sedang hingga tinggi. Penyebarannya di daerah dataran aluvial sungai, dataran aluvial pantai dan daerah cekungan (depresi) (Sugiharyanto, 2009).

Proses pembentukan tanah Aluvial sangat tergantung dari bahan induk asal tanah dan topografi. Tanah Aluvial mengalami proses pencucian selama bertahun-tahun. Tanah ini ditandai dengan memiliki kandungan bahan organik yang tinggi. Tanah

Aluvial kaya akan kandungan fosfor yang mudah larut dalam sitrat 2% mengandung 5% CO₂ dan tepung kapur (Anonym, 2015).

4.2.2 Penjabaran Teori Rumus Adveksi-Difusi

Pencemaran pada suatu unsur seperti tanah dan mempunyai batas keruangan tentu akan mengalami sebuah dispersi atau persebaran pencemaran (Sutanto, 2001). Zibar (2015), menambahkan, sebuah dispersi atau persebaran dalam sebuah unsur yang memiliki batas keruangan dapat dihitung menggunakan sebuah pendekatan permodelan.

Dalam pendekatan menggunakan model, tentunya digunakan sebuah rumus perhitungan numerik yang akan diolah didalam *Micrsoft Excel*. Rumus perhitungan yang digunakan adalah rumus dasar Adveksi-Difusi untuk satu sumber pencemar (Kahar,2006). Kahar (2006) dalam penelitiannya menerangkan bahwa inti dari rumus perhitungan ini adalah konsentrasi pencemar pada lokasi yang semakin jauh dari sumber pencemar memiliki konsentrasi yang semakin mengecil dikarenakan hanya ada satu sumber pencemar dari sepanjang lokasi yang diukur. Konsentrasi yang mengecil tersebut nantinya mendekati nol tapi tidak sampai nol ($C_x \geq 0$) dikarenakan rumus ini adalah rumus perhitungan *exponential*. Rumus perhitungannya sebagai berikut.

$$C_x = C_o \cdot \text{Exp}^{-k \cdot x} \quad \dots \text{ (Pers.1)}$$

Ket :

C_x = Konsentrasi pada jarak X (mg/L)

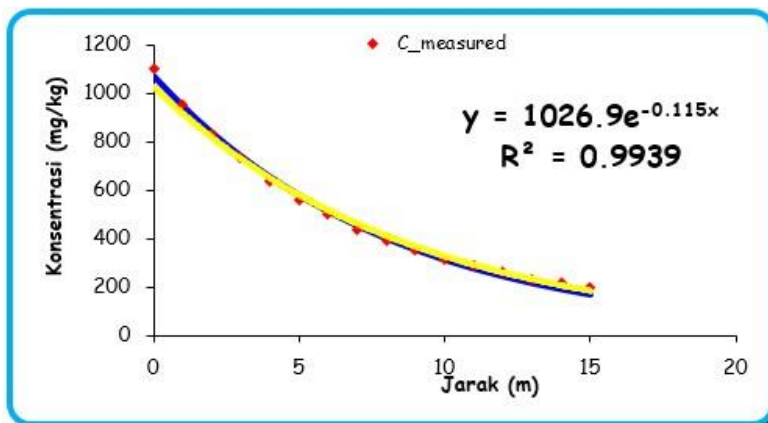
C_o = Konsentrasi pada sumber (mg/L)

Exp = *Exponoential*

k = Nilai Permeabilitas Tanah

X = Jarak (m)

Data yang akan diperoleh dari rumus perhitungan ini adalah sebuah perhitungan yang bersifat prediksi dari konsentrasi pencemar pada jarak tertentu (C_x) dan nilai permeabilitas tanah (k). Setelah perhitungngan dimasukkan kedalam *Microsoft Excel* , nantinya akan dibuat sebuah grafik perhitungan. Pada Gambar 4.10 berikut akan ditampilkan contoh grafik teori Adveksi-Difusi.



Gambar 4.10 Grafik Perhitungan Teori Adveksi-Difusi

Pada penelitian ini akan dicoba penerapan rumus perhitungan adveksi-difusi. Berdasarkan gambaran persebaran konsentrasi logam timbal (Pb) pada Peta Persebaran Konsentrasi Logam Timbal (Pb) dan Nilai Konsentrasi Logam Timbal (Pb) hasil ekstraksi, rumus perhitungan akan diterapkan dalam dua kondisi yaitu kondisi pertama disaat titik sampel dengan konsentrasi tinggi diajdikan sebagai titik sumber pencemar dan empat titik disebelah titik tersebut tanpa terputus mempunyai konsentrasi yang semakin mengecil dan kondisi kedua disaat titik sumber pencemar dan empat titik disebelahnya tanpa terputus memiliki konsentrasi yang tidak stabil atau naik-turun.

A. Kondisi 1 (Konsentrasi Stabil Mengecil)

Untuk kondisi pertama, titik sampel yang akan dihitung adalah titik sampel 56,18,14,15, dan 16. Pada Gambar 4.11 berikut akan ditampilkan rupa titik sampel pada Peta Persebaran Konsentrasi Logam Timbal (Pb) di Kecamatan Jetis.

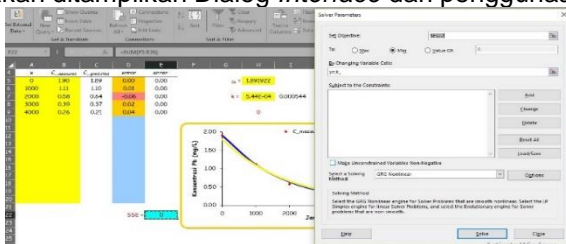


Gambar 4.11 Titik Sampel Kondisi 1

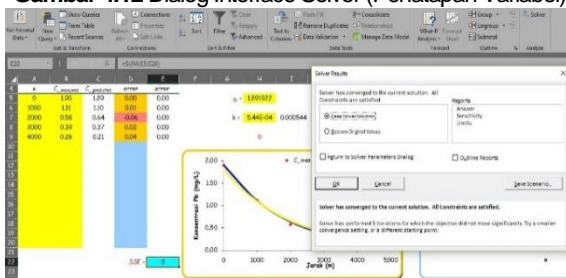
Berdasarkan data tata guna lahan dari BAPPEDA Kabupaten Mojokerto, titik sampel 56 merupakan daerah permukiman penduduk dan diatas daerah tersebut dilalui Jalan Tol

Surabaya-Mojokerto, dari kedua faktor tersebut berperan dalam akumulasi konsentrasi logam berat yang tinggi pada titik sampel 56. Oleh karena itu titik sampel 56 dijadikan sebagai titik sumber pada kondisi 1 ini.

Perhitungan pada titik ini akan dimasukkan kedalam *Microsoft Excel* yang nantinya pada perhitungan akan dibantu dengan fitur tambahan *Solver*. *Solver* digunakan untuk mendapatkan hasil terkaurat dari penerapan sebuah rumus perhitungan di *Microsoft Excel*. Pada Gambar 4.12 dan 4.13 berikut akan ditampilkan Dialog *Interface Solver* dari penggunaan *Solver*.



Gambar 4.12 Dialog Interface Solver (Penetapan Variabel)



Gambar 4.13 Dialog Interface Solver (Penyelesaian)

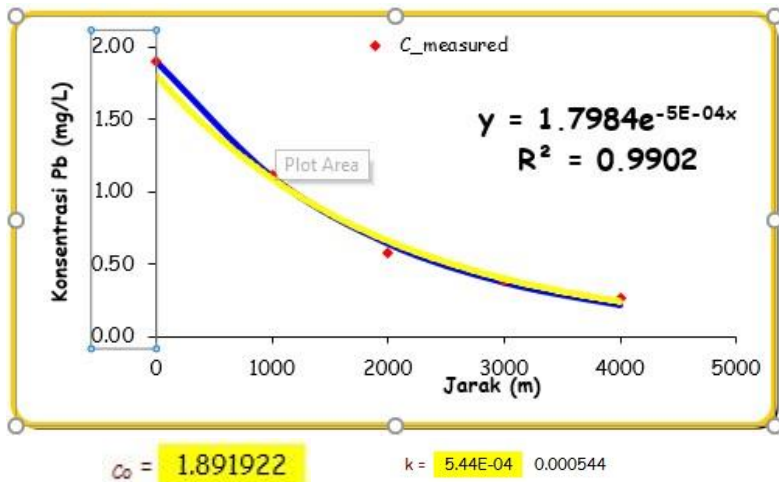
Solver berfungsi sebagai pengkoreksi nilai variabel perhitungan yang akan dicari. Dalam rumus perhitungan Adveksi-Difusi ini, variabel yang akan dikoreksi oleh *Solver* adalah variabel nilai *C* (konsentrasi) dan nilai *k* (permeabilitas).

Hasil perhitungan akan ditampilkan dalam Tabel 4.6 dan Gambar 4.14 berikut.

Tabel 4.6 Hasil Per`hitungan Teori Adveksi-Difusi Kondisi 1

Titik Sampel	Jarak (m)	Co (mg/L)	Cx-Prediksi (mg/L)	Error	Squared Error
56	0	1.895	1.89	0	0
18	1000	1.111	1.1	0.01	0
14	2000	0.58	0.64	-0.06	0
15	3000	0.387	0.37	0.02	0
16	4000	0.259	0.21	0.04	0

SSE = 0



Gambar 4.14 Grafik Perhitungan Teori Adveksi-Difusi Kondisi 1

Dilihat dari hasil perhitungan Tabel 4.6, nilai Cx-Prediksi (mg/L) merupakan nilai dari hasil penerapan rumus perhitungan Teori Adveksi-Difusi. Nilai Cx-Prediksi selaras dengan nilai Co yaitu terus menurun dari titik sampel 56 hingga 16. Nilai *error* merupakan nilai selisih antara Co dengan Cx-Prediksi. Nilai *squared error* merupakan nilai perpangkatan 2 dari nilai *error* tersebut. Nilai *squared error* ini diperlukan karena rumus perhitungan ini merupakan rumus *exponential (least-square method)* yang nantinya akan dijumlah (SSE) dan akan menjadi acuan koreksi pada *Solver*.

Dilihat pada grafik Gambar 4.14 , nilai C_x -Prediksi yang digambarkan dengan garis biru berkorelasi selaras dengan nilai C_o (konsentrasi awal hasil analisa) yang digambarkan dengan plot titik berwarna merah. Untuk hasil penerapan *Solver*, pada grafik dapat dilihat dari nilai regresi pada grafik yang mendukung hasil perhitungan rumus Adveksi-Difusi pada kondisi 1 ini yang dapat yaitu mendekati 1 ($R^2=0,992$). Selain nilai regresi, nilai k pada persamaan regresi yaitu 0,00050 juga menunjukkan hasil yang hampir sama dengan perhitungan *Solver* yaitu 0,00054.

Oleh karena itu, teori rumus Adveksi-Difusi ini dapat diterapkan pada kondisi 1 ini dengan asumsi bahwa titik sumber pencemar hanya berada pada titik 56 dan keempat titik disebelah titik 56 yaitu titik 18,14,15, dan 16 mendapatkan pengaruh akumulasi konsentrasi pencemar hanya dari titik 56.

B. Kondisi 2 (Kondisi Tidak Stabil Naik-Turun)

Untuk kondisi kedua, titik sampel yang akan dihitung adalah titik sampel 52,29,28,30, dan 31. Pada Gambar 4.15 berikut akan ditampilkan rupa titik sampel pada Peta Persebaran Konsentrasi Logam Timbal (Pb) di Kecamatan Jetis.



Gambar 4.15 Titik Sampel Kondisi 2

Berdasarkan data tata guna lahan dari BAPPEDA Kabupaten Mojokerto, titik sampel 52 merupakan daerah padat permukiman yang dilalui jalan-jalan besar untuk masuk kedalam Kota Mojokerto dan juga disekitar titik sampel 52 terdapat kegiatan industri besar. Faktor-faktor tersebut menjadikan titik sampel 52 memiliki konsentrasi logam timbal (Pb) yang sangat tinggi yaitu

3,258 mg/L. Konsentrasi tersebut telah melebihi baku mutu nilai maksimal konsentrasi logam timbal yaitu 3 mg/L (PP No.101 Tahun 2014) yang menjadikan kawasan titik sampel 52 daerah tercemar logam berat timbal (Pb). Oleh karena itu, titik sampel 52 dijadikan sebagai titik sumber pencemar pada kondisi 2 ini.

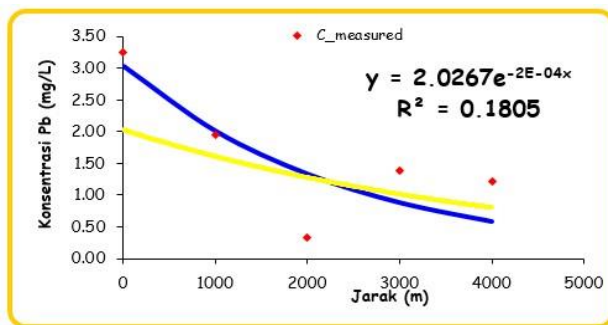
Dilihat dari indikator warna tiap-tiap titik sampel pada Gambar 4.7, pada titik 52 hingga 28 warna memudar yang menandakan konsentrasinya menurun. Pada titik selanjutnya yaitu titik 30 dan 31 warna titik sampel kembali terang yang menandakan konsentrasi kembali naik.

Perhitungan pada kondisi 2 ini sama dengan perhitungan pada kondisi 1. Hasil perhitungan pada kondisi 2 akan ditampilkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.16 berikut.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Teori Adveksi-Difusi Kondisi 2

Titik Sampel	Jarak (m)	Co (mg/L)	Cx-Prediksi (mg/L)	Error	Squared Error
52	0	3.238	3.03	0.21	0.04
29	1000	1.951	2	-0.05	0.003
28	2000	0.32	1.33	-1.01	1.02
30	3000	1.378	0.88	0.5	0.25
31	4000	1.213	0.58	0.63	0.40

SSE = 2



$C_0 = 3.025342$

$k = 4.12E-04$ 0.000412

Gambar 4.16. Grafik Perhitungan Teori Adveksi-Difusi Kondisi 2

Dilihat dari perhitungan Tabel 4.7, nilai Cx-Prediksi tidak selaras dengan nilai Co pada setiap titik sampel. Nilai Cx-Prediksi terus menurun dari titik sampel 52 hingga 31, sedangkan nilai Co tidak seperti itu. Pada kondisi 1 nilai Cx-Prediksi dan nilai Co selaras yang menandakan rumus tersebut cocok untuk kondisi tersebut. Dilihat juga pada jumlah SSE (*sum-squared error*) pada kondisi 2 yaitu bernilai 2, sedangkan pada kondisi 1 bernilai 0 yang menandakan perhitungan pada kondisi mempunyai kesalahan perhitungan lebih banyak jika dibandingkan dengan kondisi yang tidak mempunyai kesalahan perhitungan.

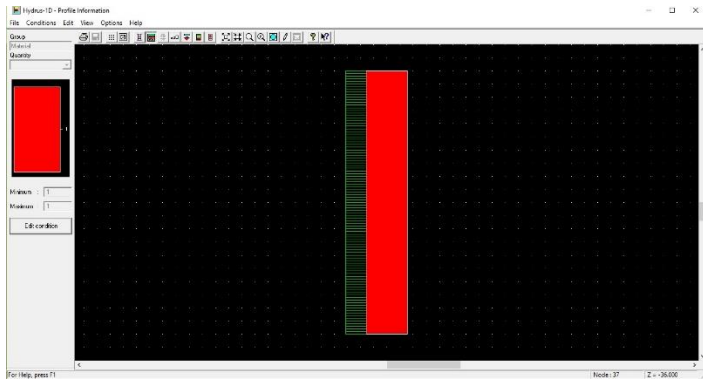
Dilihat dari grafik perhitungan pada Gambar 4.16, nilai Cx-Prediksi yang digambarkan dengan garis berwarna biru tidak dapat mencakup nilai Co (konsentrasi awal hasil analisa) yang digambarkan dengan plot titik berwarna merah. Untuk hasil analisa *Solver*, dapat dilihat pada nilai regresi pada grafik menunjukkan nilai yang muncul jauh dari angka 1 ($R^2=0,1805$). Hal ini menandakan bahwa rumus perhitungan tidak sesuai dengan analisa dilapangan (Co). Dapat dilihat juga pada nilai k hasil regresi dan hasil analisa *Solver* menunjukkan angka yang hampir sama, akan tetapi nilai k yang dihasilkan lebih kecil dari kondisi 1 ($k_2=0,000412 < k_1=0,00054$), hal ini juga diakibatkan nilai regresi yang jauh dari angka 1.

Oleh karena itu, rumus perhitungan Teori Adveksi-Difusi ini tidak dapat diterapkan pada kondisi 2 dengan asumsi bahwa ketidakselarasan hasil perhitungan dengan hasil analisa dilapangan menunjukkan bahwa sumber pencemar pada kondisi 2 ini adalah tidak satu sumber pencemar. Merujuk data tata guna lahan BAPPEDA Kabupaten Mojokerto, pada titik sampel 30 dan 31 merupakan kawasan padat permukiman penduduk yang sudah dekat dengan Jalan Arteri Kabupaten Mojokerto dan Kawasan Perkantoran Kecamatan Jetis yang menandakan adanya faktor akumulator konsentrasi logam atau sumber pencemar baru. Pada titik sampel 52 memang terdapat sumber pencemar, akan tetapi pada titik 29 dan 28 merupakan tanah sawah yang tidak dekat dengan permukiman dengan asumsi bahwa titik 28 dan 29 mendapatkan akumulasi konsentrasi pencemar hanya dari titik 52 sedangkan pada titik 30 dan 31 mendapatkan akumulasi pencemar selain dari titik 52 juga mendapatkan akumulasi pencemar dari kawasan sekitar titik sampel tersebut dengan adanya faktor

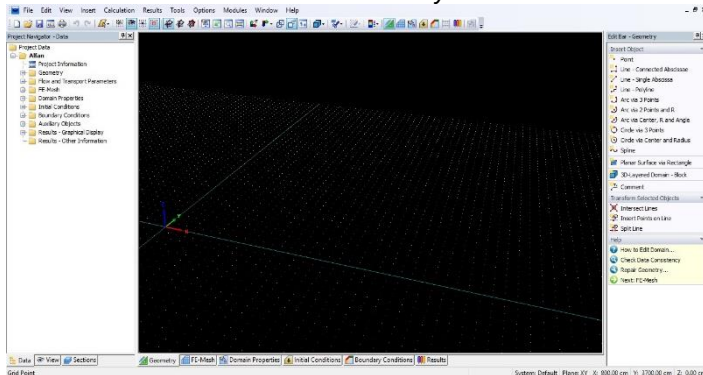
permukiman padat penduduk, wilayah perkantoran, dan jalan arteri kabupaten.

4.2.3 Pembuatan Model Dispersi Pencemaran Logam Timbal (Pb)

Pembuatan model dispersi pencemaran logam timbal akan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Hydrus 1D-2D*. Pada Gambar 4.17 dan 4.18 berikut akan ditampilkan *interface* dari masing-masing perangkat lunak tersebut.



Gambar 4.17 Interface Hydrus 1D

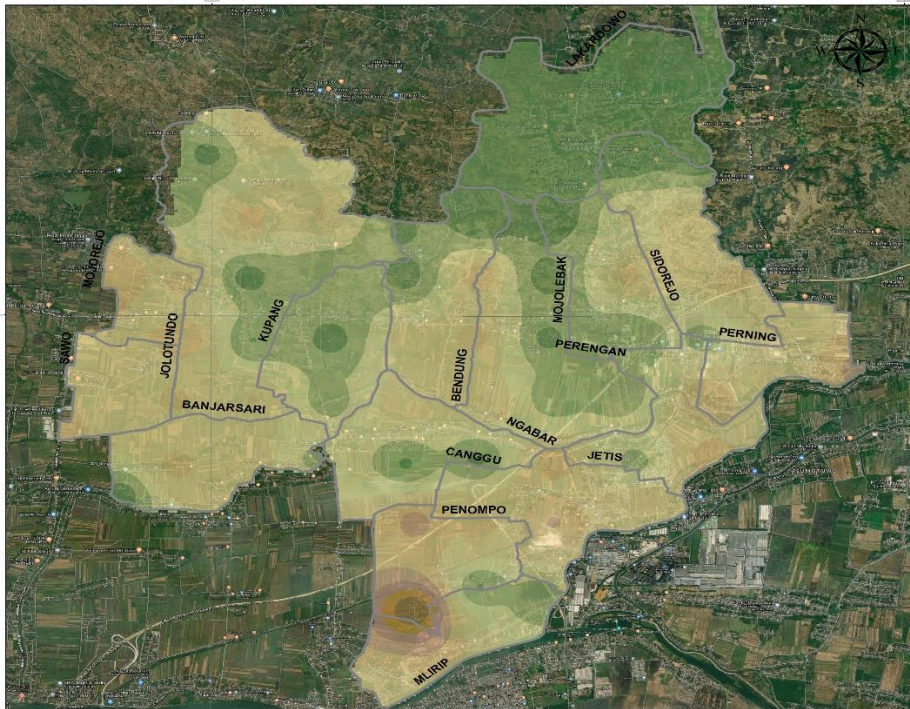


Gambar 4.18 Interface Hydrus 2D

Perangkat lunak *Hydrus 1D-2D* ini dapat memvisualkan dispersi pencemaran logam timbal (Pb) dalam tanah secara horizontal dan juga vertikal. Perangkat lunak *Hydrus 1D-2D* ini juga dapat memvisualkan prediksi dispersi pencemaran dalam satuan waktu. Jadi dengan perangkat lunak *Hydrus 1D-2D* ini dapat diketahui seberapa jauh dan seberapa lama dispersi pencemaran dalam tanah dapat terjadi.

Dalam prinsip penerapannya, perangkat lunak *Hydrus 1D-2D* membutuhkan data jarak antar sumber pencemaran dan data konsentrasi pencemar per lapisan tanah. Kendala dalam penelitian ini adalah tidak adanya dan tidak dilakukannya pengambilan sampel tanah per lapisan mengetahui konsentrasi pencemar pada lapisan-lapisan tanah yang akan dimasukkan ke dalam perangkat lunak *Hydrus 1D-2D*. Oleh karena itu, perhitungan dan pembuatan visualisasi dispersi pencemaran logam timbal (Pb) dalam tanah di Kecamatan Jetis tidak dapat dibuat menggunakan perangkat lunak *Hydrus 1D-2D*.

Sebagai gantinya, untuk visualisasi dispersi atau persebaran pencemaran logam timbal (Pb) dalam tanah di Kecamatan Jetis dibuat menggunakan perangkat lunak *ArcGIS (ArcMap 10.3)*. Visualisasi dispersi pencemaran yang dibuat berbentuk seperti peta persebaran konsentrasi logam timbal (Pb) sebelumnya yang diperlihatkan pada gambar 4.7, akan tetapi peta yang dibuat kali ini merupakan peta bergaya kontur atau biasa disebut peta *iso-sentris*. Peta *iso-sentris* ini dapat menggambarkan cakupan konsentrasi logam timbal (Pb) mencakup wilayah desa / kelurahan mana saja di Kecamatan Jetis. Konsentrasi logam timbal (Pb) yang digunakan sama dengan peta persebaran konsentrasi logam timbal (Pb) dalam tanah pada Gambar 4.7 yaitu menggunakan nilai konsentrasi total logam timbal (Pb) hasil analisa AAS dengan metode ekstraksi pencernaan asam (*Wet-Digestion*). Pada Gambar 4.19 berikut akan diperlihatkan peta persebaran logam timbal (Pb) dalam tanah di Kecamatan Jetis dengan pengamatan *Iso-Sentris*.

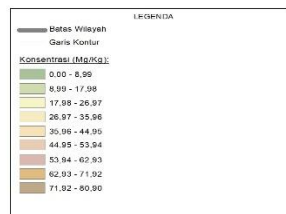


DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN PERUMAHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2019

JUDUL PETA:
PETA PERSEBARAN LOGAM TIMBAL (Pb)
DI KECAMATAN JETIS

SKALA:
 1:20.000
 0 0,35 0,7 1,4 2,1 2,8
 Kilometers

DRAFTER:
ANANDA ALFAN MAULANA
0321154000108



Gambar 4.19 Peta Persebaran Logam Timbal (Pb) di Kecamatan Jetis (*Iso-Sentris*).

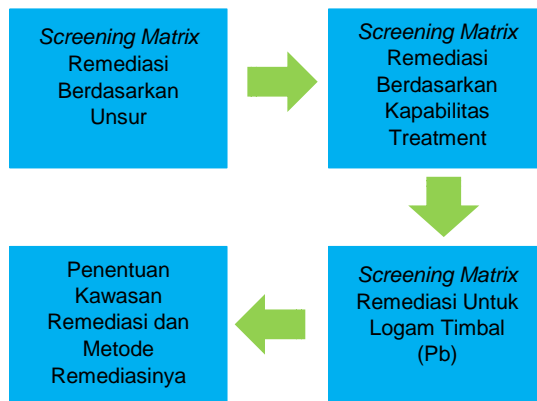
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.3 Penentuan Metode Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb)

Dalam penentuan metode remediasi tanah tercemar logam timbal (Pb) dilalui tahapan-tahapan pengerjaan. Tahapan pertama adalah melakukan *screening* metode remediasi yang terdapat didalam Tabel *Treatment Technologies Screening Matrix* (Lampiran F).

Metode remediasi akan diseleksi berdasarkan beberapa klasifikasi yaitu *screening matrix* metode remediasi berdasarkan unsur, kapabilitas treatment, dan berdasarkan logam berat timbal (Pb). *Screening* ini dilakukan berdasarkan studi literatur mengenai metode remediasi pada tiap klasifikasi penyeleksian. Tahapan selanjutnya yaitu menentukan metode remediasi yang tepat pada kawasan yang diremediasi di Kecamatan Jetis.

Setelah dilakukan penentuan, akan didapatkan metode remediasi yang tepat guna pada kawasan yang harus diremediasi menyelesaikan masalah pencemaran tanah oleh logam timbal (Pb). *Flow Chart* pada Gambar 4.20 berikut menunjukkan tahapan dalam penentuan metode remediasi tanah tercemar logam timbal (Pb).



Gambar 4.20 *Flow Chart* Tahapan Penentuan Metode Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb).

4.3.1 Screening Matrix Metode Remediasi Berdasarkan Unsur

Dalam Tabel Lengkap *Treatment Technologies Screening Matrix* (2002) terdapat beragam metode remediasi yang dikelompokkan dalam berbagai unsur seperti, media cair (air/badan air), dan media padat (tanah, sedimen, batuan, lumpur). Pada Tabel 4.8 berikut akan ditampilkan metode remediasi yang terdapat didalam *Treatment Technologies Screening Matrix* yang selanjutnya dijadikan tabel acuan untuk proses *screening matrix* metode remediasi.

Pembuatan tabel ini bertujuan untuk memudahkan dalam memilih metode remediasi dari bermacam-macam media dan unsur yang dapat diremediasi. Tabel ini juga sudah mengelompokkan metode remediasi sesuai dengan jenis pengolahan yang digunakan dan juga sesuai dengan kapabilitas pengolahan yang dilakukan. Dengan begitu proses *screening* metode remediasi dapat berjalan dengan lancar dan mendapatkan hasil yang optimal.

Tabel 4.8 Metode Remediasi dalam Treatment Technologies Screening Matrix.

Treatment	In-Situ			Ex-Situ (Assuming Excavation)			Containment	Air Emissions	Other
Unsur	Biological	Physical/Chemical	Thermal	Biological	Physical/Chemical (Assuming Pumping)	Thermal			
Groundwater, Surface Water and Leachate	Enhanced Bioremediation	Air Sparging	(-)	Bioreactors	Adsorption/ Absorption	(-)	Physical Barriers	Biofiltration	(-)
	Monitored Natural Attenuation	Bioslurping		Constructed Wetlands	Advanced Oxidation Processes		Deep Well Injection	High Energy Destruction	
	Phytoremediation	Chemical Oxidation			Air Stripping			Membrane Separation	
		Directional Wells (enhancement)			Granulated Activated Carbon/Liquid Phase Carbon Adsorption			Oxidation	
		Dual Phase Extraction			Groundwater Pumping/Pump & Treat			Scrubbers	
		Thermal Treatment			Ion Exchange			Oxidation	
		Hydrofracturing Enhancements			Precipitation/Coagulation/Flocculation			Scrubbers	
		In-Well Air Stripping			Separation			Vapor Phase Carbon Adsorption	
		Passive/Reactive Treatment Walls			Sprinkler Irrigation				
Soil, Sediment, Bedrock, and Sludge	Bioventing	Chemical Oxidation	Thermal Treatment	Biopiles	Chemical Extraction	Hot Gas Decontamination	(-)	(-)	Excavation, Retrieval, Off-Site Disposal
	Enhanced Bioremediation	Electrokinetic Separation		Composting	Chemical Reduction /Oxidation	Incineration			
	Phytoremediation	Fracturing		Landfarming	Dehalogenation	Open Burn/Open Detonation			
		Soil Flushing		Slurry/Phase Biological Treatment	Separation	Pyrolysis			
		Soil Vapor Extraction			Soil Washing	Thermal Desorption			
		Solidification/Stabilization			Solidification/Stabilization				

Sumber : *The Federal Remediation Technology Roundtable (2002)*

Pada penelitian ini unsur yang akan diremediasi adalah unsur tanah (*soil, sediment, bedrock, and sludge*) dengan tujuan untuk menentukan metode remediasi yang tepat guna mengatasi permasalahan pencemaran tanah oleh logam berat timbal (Pb). Pada Tabel 4.8 terdapat dua unsur media remediasi yaitu media padatan / tanah yang terdiri dari tanah biasa, tanah sedimen, tanah batuan, dan tanah lumpur. Unsur lainnya yaitu media cairan / air yang terdiri dari air tanah, air permukaan, dan air lindi. Dari masing-masing unsur tersebut terdapat metode remediasi yang disajikan dalam kelompok kapabilitas treatment yaitu in-situ, ex-situ, pengurugan (*containment*), pengendalian emisi udara (*air emissions*), dan teknologi remediasi lainnya (*others*). Dari kapabilitas treatment tersebut, metode remediasi disajikan dalam kelompok jenis proses dari metode remediasi tersebut yaitu proses biologis (*biological*), proses fisik-kimia (*physical/chemical*), dan proses menggunakan energi pemanasan (*thermal*).

Untuk tahapan dalam *screening*, metode remediasi yang dipilih adalah metode remediasi yang digunakan untuk unsur padatan / tanah (*soil, sediment, bedrock, and sludge*). *Screening* selanjutnya pada unsur padatan / tanah, metode remediasi yang dipilih adalah berdasarkan kapabilitas treatment terdiri dari proses in-situ, ex-situ, pengurugan (*containment*), pengendalian emisi udara (*air emissions*), dan teknologi remediasi lainnya (*others*). Dari kapabilitas treatment yang telah terpilih, *screening* metode remediasi selanjutnya berdasarkan kemampuan metode remediasi dalam kapabilitas treatment tersebut yang mampu meremediasi logam berat, khususnya logam berat timbal (Pb).

Oleh karena itu, pada tahapan ini metode remediasi untuk unsur selain tanah yaitu unsur cairan / air (*ground water, surface water, and leachate*) dapat diseleksi (*screening*) atau dihilangkan dalam tabel dengan cara menghitamkan tabel pada pilihan unsur cairan / air (*ground water, surface water, and leachate*). Pada Tabel 4.9 akan ditampilkan hasil *screening matrix* metode remediasi berdasarkan unsur

Tabel 4.9 Hasil Screening Matrix Metode Remediasi Berdasarkan Unsur

Treatment	In - Situ			Ex - Situ (Assuming Excavation)			Containment	Air Emissions	Other		
Unsur	Biological	Physical/Chemical	Thermal	Biological	Physical/Chemical (Assuming Pumping)	Thermal					
Groundwater, Surface Water and Leachate	Enhanced Bioremediation	Air Sparging	Thermal Treatment	Bioreactors	Adsorption/Absorption	Thermal Treatment	Physical Barriers	Boilerstack	Excavation, Retrieval, Off-Site Disposal		
	Monitored Natural Attenuation	Bioremediation			Advanced Oxidation Processes					Deep Well Injection	High Energy Destruction
	Phytoremediation	Chemical Oxidation			Air Sparging						Membrane Separation
		Directional Wells (enhancement)			Granulated Activated Carbon/Liquid Phase Carbon Adsorption		Oxidation				
		Dual Phase Extraction			Groundwater Pumping/Pump & Treat		Scrubbers				
		Thermal Treatment			Ion Exchange		Oxidation				
		Hydrofracturing Enhancements			Precipitation/Cogulation/Flocculation		Scrubbers				
		In-Vel Air Sparging			Separation		Vapor Phase Carbon Adsorption				
	Passive/Reactive Treatment Walls		Sparging/Injection								
Soil, Sediment, Bedrock, and Sludge	Bioventing	Chemical Oxidation	Thermal Treatment	Biopiles	Chemical Extraction	Hot Gas Decontamination	(-)	(-)	Excavation, Retrieval, Off-Site Disposal		
	Enhanced Bioremediation	Electrokinetic Separation		Composting	Chemical Reduction/Oxidation	Incineration					
	Phytoremediation	Fracturing			Landfarming	Dehalogenation				Open Burn/Open Detonation	
		Soil Flushing			Slurry Phase Biological Treatment	Separation				Pyrolysis	
		Soil Vapor Extraction				Soil Washing				Thermal Desorption	
		Solidification/Stabilization				Solidification/Stabilization					

Sumber : *The Federal Remediation Technology Roundtable (2002)*

4.3.2 **Screening Matrix Metode Remediasi Berdasarkan Kapabilitas Treatment**

Dalam tahapan *screening* kali ini, yang dimaksud dari kapabilitas *treatment* adalah sebuah metode remediasi dapat diterapkan langsung dilokasi terjadinya pencemaran (*on-site*) atau biasa disebut dengan in-situ ataukah tidak bisa diterapkan langsung pada lokasi (*off-site*) atau biasa disebut dengan ex-situ. Hakim (2005) menjelaskan , *treatment in-situ* adalah proses remediasi yang dilakukan langsung pada wilayah yang akan diremediasi, sedangkan *treatment ex-situ* adalah proses remediasi yang dilakukan diluar atau tidak diwilayah yang akan diremediasi dengan cara membawa contoh unsur yang akan diremediasi ke suatu wilayah yang sudah ditentukan untuk proses remediasi.

Lasat (2000) menerangkan bahwa metode remediasi in-situ dan ex-situ dapat diterapkan pada lokasi yang memiliki karakteristik berbeda-beda. Untuk masalah kemudahan operasional dan biaya penerapan, metode remediasi in-situ memiliki keunggulan dalam hal tersebut jika dibandingkan dengan metode remediasi ex-situ. Metode remediasi in-situ biasanya diterapkan pada cakupan lokasi wilayah tercemar yang luas, sedangkan metode remediasi ex-situ diterapkan pada cakupan lokasi wilayah tercemar yang kecil dikarenakan pada metode remediasi ex-situ mengharuskan untuk melakukan pemindahan fisik wilayah tercemar menuju lokasi yang dikehendaki (Hakim, 2005).

Oleh karena itu, menimbang dari wilayah cakupan pencemaran pada penelitian ini adalah 1 km x 1 km yang terbilang cukup luas dan juga wilayah yang akan diremediasi tidak sedikit dengan kata lain akan memakan biaya lebih untuk penerapannya maka metode remediasi in-situ dianggap cocok untuk diterapkan pada penelitian ini. Dalam Tabel *Treatment Technologies Screening Matrix*, terdapat metode remediasi in-situ dan ex-situ. Penyeleksian akan menyisihkan metode remediasi in-situ saja pada tabel hasil *screening*. Pada Tabel 4.10 berikut ditampilkan hasil *screening matrix* metode remediasi berdasarkan kapabilitas *treatment*

Tabel 4.10 Hasil Screening Matrix Berdasarkan Kapabilitas Treatment

Treatment	In - Situ			Ex - Situ (Assuming Excavation)			Containment	Air Emissions	Other		
Unsur	Biological	Physical/Chemical	Thermal	Biological	Physical/Chemical (Assuming Pumping)	Thermal					
Groundwater, Surface Water and Leachate	Enhanced Bioremediation	Air Sparging	(H)	Bioreactors	Adsorption/Absorption	(H)	Physical Barriers	Biofiltration	(H)		
	Monitored Natural Attenuation	Bioremediation		Constructed Wetlands	Advanced Oxidation Processes			Air Stripping		Deep Well Injection	High Energy Destruction
	Phytoremediation	Chemical Oxidation			Granulated Activated Carbon/Liquid Phase Carbon Adsorption						Membrane Separation
		Directional Wells (enhancement)					Groundwater Pumping/Pump & Treat	Oxidation			
		Dual Phase Extraction			Ion Exchange					Scrubbers	
		Thermal Treatment					Precipitation/Coagulation/Flocculation	Oxidation			
		Hydrofracturing Enhancements			Separation					Scrubbers	
		In-Well Air Sparging					Spillway Irrigation	Vapor Phase Carbon Adsorption			
		Passive/Reactive Treatment Walls									
Soil, Sediment, Bedrock, and Sludge	Bioventing	Chemical Oxidation	Thermal Treatment	Biopiles	Chemical Extraction	Hot Gas Decontamination	(H)	(H)	Extraction, Retrieval, Off-Site Disposal		
	Enhanced Bioremediation	Electrokinetic Separation		Composting	Chemical Reduction/Oxidation	Incineration					
	Phytoremediation	Fracturing		Slurry Phase Biological Treatment	Landfarming	Dehalogenation				Open Burn/Open Detonation	
		Soil Flushing			Separation	Pyrolysis					
		Soil Vapor Extraction								Soil Washing	Thermal Desorption
		Solidification/Stabilization			Solidification/Stabilization						

Sumber : *The Federal Remediation Technology Roundtable (2002)*

4.3.3 Screening Matrix Metode Remediasi Untuk Logam Timbal (Pb)

Dari Tabel 4.10, pada tahap ini akan diseleksi kembali mengerucut pada aspek penerapannya untuk remediasi pencemaran oleh logam berat timbal (Pb). Metode remediasi yang terdapat pada Tabel 4.10 tersebut yaitu *bioventing*, *enhanced bioremediation*, *phytoremediation*, *chemical oxidation*, *electrokinetic separation*, *fracturing*, *soil flushing*, *soil vapor extraction*, *solidification/stabilization*, dan *thermal treatment*. Dari 10 metode remediasi yang terdapat pada Tabel 4.10 akan dilakukan studi literatur pada setiap metode remediasi dengan tujuan mencari tahu apakah metode remediasi tersebut pernah dan cocok dipakai untuk remediasi pencemaran tanah oleh logam berat timbal (Pb). Berikut akan dijelaskan hasil studi literatur yang telah dilakukan.

- *Bioventing* (Bioremediasi dengan Mikroba)
Penerapan *bioventing* dapat diterapkan untuk mereduksi pencemaran logam timbal (Pb) dalam tanah. Hardiani (2011) dalam penelitiannya menerapkan inokulasi mikroba konsorsium kedalam tanah tercemar logam timbal akibat dari limbah tinta pabrik kertas. Mikroba konsorsium tersebut akan mengubah logam aktif dalam tanah menjadi tidak aktif oleh aktifitas mikroba yang dinyatakan dengan penurunan nilai koefisien distribusi fase tertukarkan dan peningkatan fase *residual* Pb.
- *Phytoremediation* (Fitoremediasi)
Fitoremediasi dapat diterapkan pada reduksi logam berat timbal (Pb). Salah satu tanaman yang dapat mereduksi logam berat timbal (Pb) pada tanah adalah tanaman bergenus *Amaranthus*, yaitu tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*) (Novandi, 2015).
- *Enhanced Bioremediation* (Bioremediasi Tingkat Lanjut)
Salah satu contoh bioremediasi tingkat lanjut adalah penerapan *biochar*. Hidayat (2017) dalam penelitiannya menjelaskan *biochar* merupakan biomassa organik yang

mengalami proses termolisis dan dapat dibuat dengan skala yang sederhana. *Biochar* dapat meningkatkan pH tanah dan berkontribusi terhadap stabilisasi logam berat dalam tanah.

- *Electrokinetic Separation* (Pemisahan secara Elektrokinetik)

Remediasi tanah tercemar timbal dengan menerapkan energi arus listrik juga diterapkan. Purwanta (2005) dalam penelitiannya menerapkan teknologi pemisahan kontaminan timbal dari tanah menggunakan proses elektromigrasi. Metode ini memakai suatu larutan penghantar (elektrolit) yang disisipkan diantara katoda dengan tanah yang diolah. Dengan cara ini logam berat dapat berpindah keluar dari tanah sebelum terpresipitasi sebagai hidroksida.

Hasil studi literatur menunjukkan dari 10 metode remediasi yang dilakukan studi literatur dari jurnal dan penelitian sebelumnya didapatkan 4 metode remediasi yang dapat diterapkan untuk remediasi tanah tercemar logam timbal (Pb). Metode remediasi tersebut yaitu *bioventing* (bioremediasi dengan mikroba konsorsium), *phytoremediation* (fitoremediasi dengan tanaman bayam cabut (*Amarantus tricolor L.*)), *enhanced bioremediation* (bioremediasi tingkat lanjut dengan penerapan *biochar*), dan *electrokinetic separation* (pemisahan secara elektrokinetik dengan menggunakan elektrolit). Pada Tabel 4.11 berikut akan ditampilkan hasil *screening matrix* metode remediasi untuk logam timbal (Pb)

Tabel 4.11 Hasil Screening Matrix Metode Remediasi Untuk Logam Timbal (Pb)

Treatment	In - Situ			Ex - Situ (Assuming Excavation)			Containment	Air Emissions	Other														
Unsur	Biological	Physical/Chemical	Thermal	Biological	Physical/Chemical (Assuming Pumping)	Thermal																	
Groundwater, Surface Water and Leachate	Enhanced Bioremediation	Air Sparging	(H)	Bioreactors	Adsorption/Absorption	(H)	Physical Barriers	Biolithation	(H)														
	Monitored Natural Attenuation	Biostumping		Constructed Wetlands	Advanced Oxidation Processes					Deep Well Injection	High Energy Destruction												
	Phytoremediation	Chemical Oxidation										Air Sparging	Membrane Separation										
		Directional Wells (enhancement)												Granulated Activated Carbon/Liquid Phase Carbon Adsorption	Oxidation								
		Dual Phase Extraction														Groundwater Pumping/Pump & Treat	Scrubbers						
		Thermal Treatment																Ion Exchange	Oxidation				
		Hydrofracturing Enhancements																		Precipitation/Coagulation/Flocculation	Scrubbers		
		In-Well Air Sparging																				Separation	Vapor Phase Carbon Adsorption
		Passive/Reactive Treatment Walls																					
Soil, Sediment, Bedrock, and Sludge	Bioventing	Chemical Oxidation	Thermal Treatment			Biopiles	Chemical Extraction	Hot Gas Decontamination	(H)			(H)	Excavation, Removal, Off-Site Disposal										
	Enhanced Bioremediation	Electrokinetic Separation		Composting	Chemical Reduction/Oxidation	Incineration																	
	Phytoremediation	Fracturing		Soil Fracturing/Solubilization	Slurry Phase Biological Treatment	Landfarming	Denitrogenation	Open Burn/Open Detoxification															
		Soil Fracturing				Separation	Thermal Desorption	Pyrolysis															
		Soil Vapor Extraction								Soil Washing													
Soil Fracturing/Solubilization		Soil Fracturing/Solubilization																					

Sumber : *The Federal Remediation Technology Roundtable (2002)*

3.3.4 Penentuan Kawasan Remediasi dan Metode Remediasinya

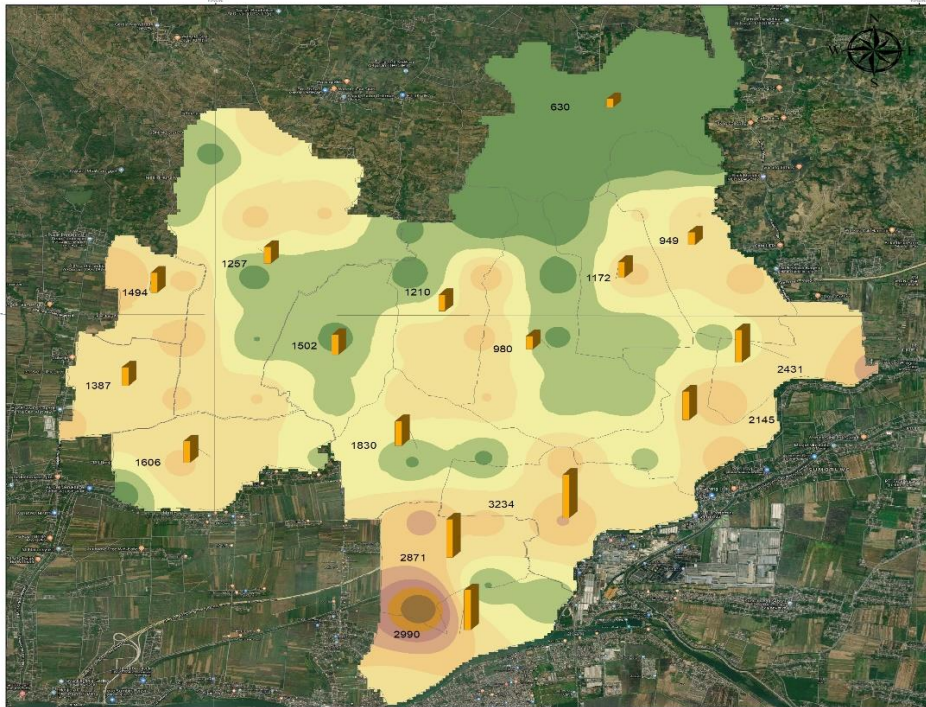
Setelah melalui proses *screening* hingga terpilihnya 4 metode remediasi yang mampu meremediasi tanah tercemar logam timbal (Pb), langkah selanjutnya yaitu menentukan sebuah kawasan pada Kecamatan Jetis yang perlu dilakukan remediasi dan metode remediasi seperti apa yang cocok dari 4 metode remediasi untuk kawasan tersebut.

Untuk lebih memudahkan penentuan kawasan remediasi, kawasan yang akan diremediasi nantinya merupakan salah satu atau lebih dari 16 kelurahan pada Kecamatan Jetis. Kelurahan yang akan dijadikan sebagai kawasan yang perlu dilakukan remediasi, dipilih berdasarkan aspek yang sekiranya menjadi faktor penyebab kelurahan tersebut terkontaminasi logam berat timbal (Pb) dan harus dilakukan remediasi. Karakteristik yang dimaksud antara lain:

- Jumlah dan Kepadatan Penduduk
- Luas Daerah Persawahan
- Luas Tanah Kosong
- Jumlah Ternak Warga
- Jumlah Kegiatan Industri
- Rata-rata Konsentrasi Logam Timbal (Pb)

Penentuan aspek-aspek diatas didasari oleh data yang tersedia didalam Buku Kecamatan Jetis dalam Angka 2018 untuk setiap kelurahan didalamnya dan juga beberapa studi literatur yang relevan dengan sumber pencemaran logam timbal pada tanah. Aspek-aspek diatas nantinya akan dikorelasikan dalam bentuk peta dengan peta persebaran konsentrasi logam timbal (Pb) dan juga data-data dari aspek diatas akan disajikan dalam bentuk tabel. Sebagai contoh, pada Gambar 4.21 berikut akan ditampilkan Peta Persebaran Konsentrasi Logam Timbal (Pb) dengan Kepadatan Penduduk didalamnya digambarkan dengan diagram batang. Tabel 4.12 juga akan menampilkan data lengkap dari aspek-aspek diatas.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2019

JUDUL PETA:
PETA PERSEBARAN LOGAM TIMBAL (Pb)
DENGAN KEPADATAN PENDUDUK
DI KECAMATAN JETIS

SKALA:
 1:20.000
 0 0,35 0,7 1,4 2,1 2,8 Kilometers

DRAFTER:
ANANDA ALFAN MAULANA
0321154000108

— Batas Wilayah
 - - - - - Garis Kontur

Kepadatan Penduduk (orang/km²)

Konsentrasi (Mg/Kg)

0.00 - 8.99
8.99 - 17.98
17.98 - 26.97
26.97 - 35.96
35.96 - 44.95
44.95 - 53.94
53.94 - 62.93
62.93 - 71.92
71.92 - 80.90

INSET

Gambar 4.21 Peta Persebaran Logam Timbal (Pb) di Kecamatan Jetis dengan Kepadatan Penduduk

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel 4.12 Nilai Aspek Tiap Kelurahan Di Kecamatan Jetis

DESA	Luas Daerah	Jumlah Penduduk	Kepadatan Penduduk	Daerah Sawah	Tanah Kosong	Jumlah Ternak	Kegiatan Industri	Rata-Rata Konsentrasi Timbal
	km2	Orang	Orang/km2	m2	m2	Ekor	Buah	mg/kg
MLIRIP	2.33	6967	2990	860000	132300	167	383	32.2
PENOMPO	2.44	7005	2871	1480000	84902	305	365	37.2
CANGGU	3.35	10834	3234	1690000	748650	438	681	32.0
NGABAR	3.25	5948	1830	1890000	2110030	755	670	22.6
BANJARSARI	3.1	4978	1606	2085000	1055100	386	458	27.9
SAWO	2.49	3454	1387	2089610	361800	337	468	32.2
MOJOREJO	2.31	3450	1494	1360970	15700	458	703	34.9
JOLOTUNDO	4.09	5140	1257	2424700	104000	558	829	23.1
KUPANG	3.56	5348	1502	1620700	996000	467	815	15.7
BENDUNG	3.88	4694	1210	1455760	580200	753	606	20.8
MOJOLEBAK	5.28	5174	980	2891750	473500	296	576	18.1
PERENGAN	2.9	3399	1172	1399170	160000	298	476	18.4
JETIS	2.89	6198	2145	1092750	1345000	404	385	30.7
PERNING	1.66	4035	2431	864500	0	448	408	30.6
SIDOREJO	4.19	3978	949	1136800	150350	643	705	22.4
LAKARDOWO	5.46	3439	630	1236220	62100	623	934	4.5
Rata-Rata	3	5253	1731	1598621	523727	459	591	25
	=	Diatas Rata-Rata						
	=	Tertinggi						

Sumber : Kecamatan Jetis Dalam Angka (2018)

- Penentuan Kawasan Remediasi

Dari data aspek pada Tabel 4.12 dilakukan analisis data untuk menentukan kawasan yang akan dilakukan remediasi. Aspek-aspek pada suatu kelurahan yang berada diatas rata-rata akan menjadi pertimbangan dalam pemilihan kawasan. Berikut akan ditampilkan keluarahan mana saja yang akan dilaksanakan remediasi urut sesuai dengan prioritas untuk penerapan di kelurahan tersebut.

A. Prioritas 1 : Kelurahan Penompo

Pemilihan kelurahan penompo menjadi kawasan remediasi prioritas 1, dikarenakan rata-rata konsentrasi logam timbal (Pb) pada kelurahan tersebut bernilai paling tinggi diantara kelurahan lainnya yaitu sebesar 37,2 mg/kg. Sejatinya, nilai konsentrasi logam timbal (Pb) pada seluruh kawasan Kecamatan Jetis tidak ada yang melebihi baku mutu, maka dari itu dipilih prioritas kawasan dengan konsentrasi tertinggi untuk dilakukan remediasi.

B. Prioritas 2 : Kelurahan Canggung

Kelurahan Canggung dipilih menjadi kawasan remediasi dikarenakan banyak dari aspek pada Tabel 4.12 melebihi baku mutu seperti jumlah penduduk yang mengakibatkan kepadatan penduduk juga tinggi, luas daerah persawahan dan tanah kosong yang diatas rata-rata memungkinkan untuk dilakukan remediasi secara menyeluruh, serta jumlah kegiatan industri yang menjadi salah satu sumber kontaminasi logam berat dengan nilai rata-rata konsentrasi logam timbal (Pb) pada kelurahan ini sebesar 32.0 mg/kg.

C. Prioritas 3 : Kelurahan Mlirip

Kawasan terakhir yang akan diremediasi yaitu Kelurahan Mlirip. Kondisi Kelurahan Mlirip hampir sama dengan kondisi Kelurahan Penompo pada prioritas sebelumnya yaitu jumlah dan kepadatan penduduk yang sama-sama diatas rata-rata, serta luas tanah kosong dan daerah persawahan yang tidak cukup luas. Hal yang sedikit membedakan antara Kelurahan Mlirip dengan Kelurahan Penompo yaitu nilai rata-rata konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada Kelurahan Mlirip lebih kecil yaitu sebesar 32,2 mg/kg.

Setelah kawasan yang akan diremediasi telah ditentukan, selanjutnya menentukan metode remediasi yang cocok dengan masing-masing karakteristik dari ketiga kelurahan tersebut.

- Penentuan Metode Remediasi

Dari ketiga kelurahan yang akan diremediasi akan ditentukan metode remediasi apa yang cocok diterapkan pada kelurahan tersebut.

A. Prioritas 1 : Kelurahan Penompo

Pada Kelurahan Penompo, kondisi yang terjadi yaitu konsentrasi logam timbal yang tinggi yang dipersulit dengan luas persawahan dan tanah kosong yang tidak begitu luas sehingga agak sulit melakukan remediasi secara menyeluruh, serta kepadatan penduduk yang juga lebih menyempitkan ruang gerak untuk remedasi, diperlukan metode remediasi yang tidak membutuhkan ruang banyak dan juga proses yang kompleks.

Metode remediasi yang cocok yaitu menggunakan metode *enhanced bioremediation* dengan penambahan *biochar*. *Biochar* merupakan bahan padat kaya karbon hasil konversi dari limbah organik (biomas pertanian) melalui pembakaran tidak sempurna atau suplai oksigen terbatas (*pyrolysis*) (Balitbang Pertanian, 2019). Penggunaan *biochar* di Indonesia dilakukan sudah sejak awal tahun 2000-an hingga saat ini dan juga sudah banyak dipasarkan secara umum. *Biochar* memiliki struktur seperti arang, tetapi penerapannya sama seperti penggunaan pupuk pada tanaman (Hidayat, 2017). *Biochar* ditaruh begitu saja diatas tanah yang akan diremediasi dan dibiarkan hingga proses biodegradasi dari *biochar* selesai ditandai dengan wujud dari *biochar* sudah sama atau menyatu dengan tanah. Proses *biodegradable* dari penerapan *biochar* juga cukup signifikan. Kusuma (2012) dalam penelitiannya menjelaskan, penggunaan *biochar* pada tanah tercemar logam merkuri (Hg) dan logam timbal (Pb) mampu mereduksi kadar logam merkuri (Hg) dan timbal (Pb) sebesar 13% dan 68% dari kadar semula pada awal percobaan.

B. Prioritas 2 : Kelurahan Canggung

Kelurahan Canggung mempunyai jumlah penduduk yang lebih banyak dan lebih padat dari Kelurahan Penompo. Kelurahan Canggung mempunyai luas daerah persawahan dan tanah kosong yang juga cukup luas untuk dapat menerapkan metode remediasi secara menyeluruh. Namun, daerah persawahan juga dapat menjadi faktor penyebab akumulasi logam berat dengan 10% kandungan logam berat timbal (Pb) dalam pestisida untuk

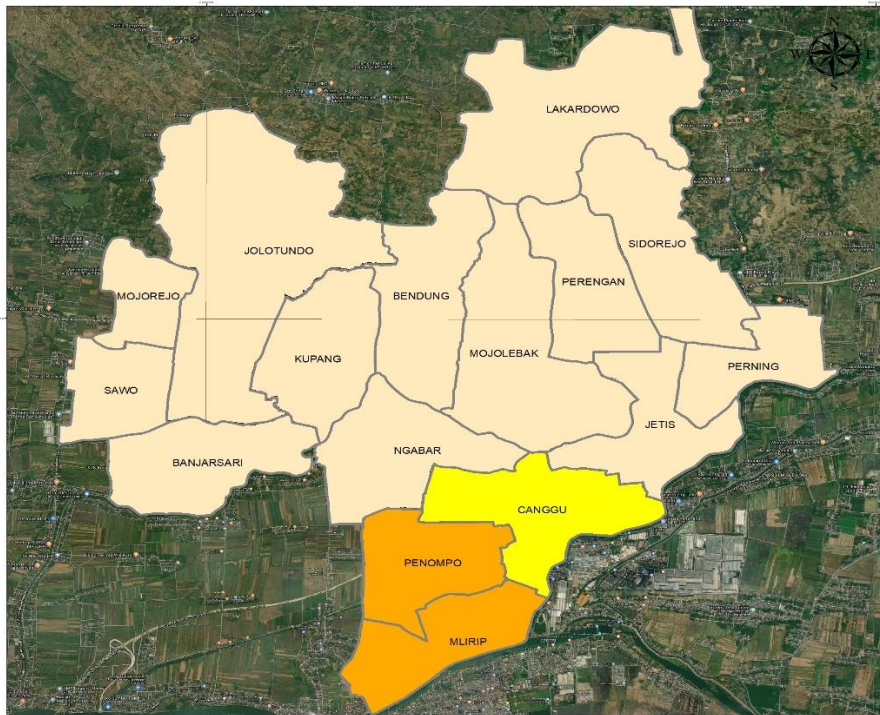
pertanian (Jones and Jarvis, 1980). Akan tetapi, tidak ada salahnya daerah persawahan dan tanah kosong yang luas dimanfaatkan untuk penerapan metode remediasi.

Metode remediasi yang cocok untuk kondisi seperti itu adalah menggunakan metode fitoremediasi. Salah satu tanaman yang umum digunakan untuk fitoremediasi tanah tercemar timbal adalah menggunakan tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*). Novandi (2015) dalam penelitiannya menjelaskan tanaman bayam cabut merupakan tanaman akumulator renda dan proses remediasi yang terjadi dalam fitoremediasi ini adalah proses fitostabilisasi. Fitostabilisasi merupakan penggunaan tumbuhan untuk membatasi mobilitas dan bioavailabilitas kontaminan pada tanah. Walaupun penyerapan Pb oleh tanaman bayam cabut tergolong rendah, tetapi kondisi tanaman secara visual yang masih terlihat sehat dan baik serta pertumbuhannya yang cepat menjadikan tanaman ini masih dapat dipertimbangkan sebagai agen fitoremediasi pencemaran logam timbal (Pb) pada tanah.

C. Prioritas 3 : Kelurahan Mlirip

Kondisi yang hampir sama dimiliki Kelurahan Mlirip dengan Kelurahan Penompo. Jumlah dan kepadatan penduduk yang diatas rata-rata akan tetapi tanah kosong dan daerah persawahan yang tidak begitu luas. Maka dari itu metode remediasi pada Kelurahan Mlirip juga menggunakan *enhanced bioremediation* menggunakan *biochar*. Penyamaan metode juga akan berdampak positif pada biaya yang harus diinvestasikan dan untuk memudahkan dalam hal operasional dan pemeliharaan metode remediasi. Gusnita (2012) dalam penelitiannya menjelaskan, untuk mendapatkan hasil maksimal dari proses bioremediasi diperlukan kondisi media remediasi yang prima agar laju biodegradasi yang terjadi mencapai *peak piont* dan mengeluarkan *output process* yang maksimal.

Kawasan yang akan diremediasi pada penelitian ini adalah sebanyak 3 kawasan yaitu Kelurahan Penompo, Canggung, dan Mlirip. Metode remediasi yang digunakan sebanyak 2 metode pada 3 kelurahan tersebut. Metode remediasi *enhanced bioremediation* dengan *biochar* pada Kelurahan Penompo dan Mlirip, serta metode remediasi fitoremediasi dengan tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*) pada Kelurahan Canggung. Pada Gambar 4.22 akan diperlihatkan wilayah yang akan diremediasi.



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 SURABAYA
 2018

JUDUL PETA:
**PETA WILAYAH PENERAPAN METODE REMEDIASI
 DI KECAMATAN JETIS**

SKALA
 1:20.000
 0 0,35 0,7 1,4 2,1 2,8
 Kilometers

DRAFTER:
ANANDA ALFAN MAULANA
0321154000108

LEGENDA
 — Batas Wilayah
 — Garis Kontur
 Tidak dilakukan Remediasi
 Bioremediasi dengan Biochar
 Fitoremediasi



Gambar 4.22 Peta Wilayah Penerapan Metode Remediasi Di Kecamatan Jetis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

4.4 Penyusunan RAB (Rencana Anggaran Biaya) Metode Remediasi

Setelah menentukan metode remediasi yang tepat untuk permasalahan pencemaran tanah oleh logam berat timbal (Pb), selanjutnya akan dibuat sebuah rancangan pembiayaan dari penerapan metode remediasi tersebut. Terdapat 2 metode remediasi yang dilaksanakan pada 3 kelurahan. Masing-masing metode remediasi yaitu metode remediasi *enhanced bioremediation* menggunakan *biochar* dan fitoremediasi menggunakan tanaman bayam cabut akan memiliki rancangan anggaran biaya berbeda.

A. RAB *Enhanced Bioremediation* dengan *Biochar*.

- Luas Lahan yang diremediasi (Luas Lahan Kosong)
Kel.Penompo + Kel.Mlirip = 217202 m²
= 21,7 Ha
- Kebutuhan *Biochar* = 4 ton/Ha (Laos *et al.*, 2009)
= 4 x 21,7
= 87 ton
= 87000 kg
Massa Jenis *Biochar* = 0,11 kg/L
Kebutuhan *Biochar* (Liter) = 87000 x 0,11
= 9570 L
1 Karung *Biochar* = 10 L
Kebutuhan *Biochar* (Karung) = 9570 L / 10 L
= 957 Karung

Pada Tabel 4.13 berikut ditampilkan biaya untuk penerapan metode remediasi *biochar*.

Tabel 4.13 RAB Penerapan Metode Remediasi *Biochar*

Uraian	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pembersihan Lahan (Pekerjaan Pertanian)	217202.00	m ²	Rp 6,200	Rp 1,346,652,400
Pengadaan <i>Biochar</i>	957	Karung (10L)	Rp 10,000	Rp 9,570,000
Total				Rp 1,356,222,400

- B. RAB Fitoremediasi dengan Tanaman Bayam Cabut.
- Luas Lahan yang diremediasi (Luas Lahan Kosong)
 - Kel. Canggü = 748650 m²
 - = 74,8 Ha
 - 1 Lahan Tanam = 0,74 Ha (Susilowati, 2012)
 - = 86 m x 86 m
 - Jumlah Lahan Tanam = 74,8 Ha / 0,74 Ha
 - = 100 Lahan Tanam
 - Kebutuhan Tanaman Bayam Cabut
 - Jarak Antar Tanaman = 60 cm x 60 cm (Balitbang, 2012)
 - = 3600 cm²
 - = 0,36 m²
 - Luas 1 Lahan Tanam = 7400 m²
 - Kebutuhan Tanaman @1 Lahan Tanam = 7400 / 0,36
 - = 20.556 buah
 - Kebutuhan Tanaman Total = 20.556 x 100
 - = 2.055.600 buah tanaman
 - Kebutuhan Bibit Tanaman Bayam Cabut
 - 1 Tanaman Bayam Cabut = 5 bibit (Novandi, 2015)
 - Total Kebutuhan Bibit Tanaman = 5 x 2055600
 - = 10.278.000 bibit
 - Kebutuhan Bibit Tanaman Bayam Cabut (per Pack)
 - 1 Pack 500gr Bayam Cabut = 1000 bibit
 - Total Kebutuhan Bibit per Pack = 10.278.000 / 1000
 - = 10.278 pack

Pada Tabel 4.14 berikut akan ditampilkan biaya untuk penerapan metode remediasi fitoremediasi dengan tanaman bayam cabut.

Tabel 4.14 RAB Penerapan Metode Remediasi Fitoremediasi

Uraian	Jumlah	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Pembersihan Lahan (Pekerjaan Pertanian)	748650.00	m2	Rp 6,200	Rp 4,641,630,000
Pengadaan Bibit Bayam Cabut	10278	Pack	Rp 20,000	Rp 205,560,000
Penyiapan Bibit Tanaman	149730.00	m3	Rp 39,700.00	Rp 5,944,281,000
Pengadaan Alat Pendukung :				
Pupuk Kompos	17200	buah	Rp 5,000	Rp 86,000,000
Cangkul	100	buah	Rp 60,000	Rp 6,000,000
Sekop	100	buah	Rp 12,000	Rp 1,200,000
Garpu Rambat	100	buah	Rp 32,000	Rp 3,200,000
Total				Rp 10,887,871,000

Dari kedua metode remediasi tersebut didapatkan masing-masing biaya yang harus dikeluarkan untuk penerapannya. Metode remediasi dengan *biochar* memakan biaya sebesar Rp 1,356,222,400 (Satu Milyar Tiga Ratus Lima Puluh Enam Juta Dua Ratus Dua Puluh Empat Ribu Empat Ratus Rupiah) dan untuk metode fitoremediasi memakan biaya sebesar Rp 10,887,871,000 (Sepuluh Milyar Delapan Ratus Delapan Puluh Tujuh Juta Delapan Ratus Tujuh Puluh Satu Ribu Rupiah)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dari 63 titik sampel yang tertera pada Peta Persebaran Konsentrasi Logam Timbal (Pb) di Kecamatan Jetis, Kabupaten Mojokerto, didapatkan konsentrasi terendah berada pada titik sampel 7 dengan konsentrasi sebesar 3,13 mg/kg. Titik sampel dengan konsentrasi tertinggi berada pada titik sampel 52 dengan konsentrasi sebesar 80,95 mg/kg. Menurut baku mutu yang tercantum pada PP No.101 Tahun 2014, titik sampel kawasan Kecamatan Jetis berada dibawah baku mutu TK-C. Oleh karena itu, tanah dikawasan Kecamatan Jetis masih belum tercemar logam timbal (Pb) dan dapat digunakan sebagai tanah lapisan dasar.
2. Teori Aduksi-Difusi membuktikan bahwa kontaminasi logam akan semakin menurun dengan 1 sumber pencemar saja. Jika sumber pencemar lebih dari 1, maka kontaminasi logam berat akan fluktuatif. Di Kecamatan Jetis terdapat wilayah kawasan dengan 1 sumber pencemar saja seperti pada titik sampel 56, 18, 14, 15, dan 16. Untuk kawasan dengan lebih dari 1 sumber pencemar terdapat pada titik sampel 52, 29, 28, 30, dan 31.
3. Kawasan yang akan diremediasi pada penelitian ini adalah sebanyak 3 kawasan yaitu Kelurahan Penompo, Canggung, dan Mlirip. Metode remediasi yang digunakan sebanyak 2 metode pada 3 kelurahan tersebut. Metode remediasi *enhanced bioremediation* dengan *biochar* pada Kelurahan Penompo dan Mlirip, serta metode remediasi fitoremediasi dengan tanaman bayam cabut (*Amaranthus tricolor L.*) pada Kelurahan Canggung.
4. Jumlah biaya yang harus diinvestasikan untuk penerapan metode remediasi tanah tercemar logam timbal (Pb) di Kecamatan Jetis adalah untuk metode remediasi dengan *biochar* memakan biaya sebesar Rp 1,356,222,400 (Satu

Milyar Tiga Ratus Lima Puluh Enam Juta Dua Ratus Dua Puluh Empat Ribu Empat Ratus Rupiah) dan untuk metode fitoremediasi memakan biaya sebesar Rp 10,887,871,000 (Sepuluh Milyar Delapan Ratus Delapan Puluh Tujuh Juta Delapan Ratus Tujuh Puluh Satu Ribu Rupiah).

5.2 Saran

Saran yang dianjurkan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data untuk modeling dispersi sebaiknya menggunakan data primer untuk pengukuran per lapisan konsentrasi logam timbal (Pb) pada tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aishawabkeh, A.N. 2000. *Final In-Situ Electrokinetic Remediation of Metal Contaminated Soils*. Tersedia dalam : <http://www.USArmyEnrionmentalCenter>.
- Ali, H., Ezzat, K., Muhammad, A.S.2013. *Phytoremediation of Heavy Metals : Concept and Application*. Journal of Chemosphere Vol.93 : 869-881. 2013
- Alloway, BJ.1995.*Heavy Metals In Soils*.London:Blackie Academic Professional.
- American Chemical Society.2010. *Aqua Regia*. Tersedia dalam : <http://web.mit.edu>. Diakses pada tanggal 13 Januari 2019
- American Geological Institute. 1976. *Dictionary of Geological Terms*. Revised Edition. Anchor Books: New York. VIII + 472 h.
- Anonym. 1977. *The Condensed Chemical Dictionary*. Van Nostrard Remhoold Company: New York.
- Anonym. 2010. *Logam Berat Pb dalam Limbah B3*.Tersedia dalam : <https://www.scribd.com/doc/48878479/Logam-Berat-sebagai-Salah-Satu-Jenis-Limbah-B3-Nurin-Nisa-Farah-Diena-H1E107006>. Diakses pada tanggal 7 Januari 2019
- Anonym. 2011. *Pencemaran Tanah*. Tersedia dalam :<http://e-journal.uajy.ac.id/6980/3/BL201125.pdf>. Diakses pada tanggal 7 Januari 2019. Mataram.
- Anonym. 2012. *Pencemaran Tanah*. Tersedia dalam : <https://hortikulturapolinela.files.wordpress.com/2012/10/fuad-amzani.pdf>. Diakses pada tanggal 7 Januari 2019. Mataram.
- Anonym. 2012. *Pengertian Landfilling*. Tersedia dalam : <https://jujubandung.wordpress.com/2012/06/02/pengertian-lahan-urug-landfilling/>. Diakses pada tanggal 7 Januari 2019
- Anonym. 2014. *Pengertian Bioremdiasi*. Tersedia dalam : <https://www.academia.edu/9913982/Remediasi>. Diakses pada tanggal 7 Januari 2019

- Anonym. 2015. *Keuntungan Landfilling*. Tersedia dalam : <https://dokumen.tips/download/link/remediasi-tanahpdf>. Diakses pada tanggal 7 Januari 2019
- Anonym. 2015. *Karakteristik Tanah Aluvial*. Tersedia dalam : <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/tanah/tanah-aluvial>. Diakses pada tanggal 1 Mei 2019
- Anonym. 2015. *Pengertian Ring Sample pada Tanah*. Tersedia dalam : <http://carialat.com/product/ring-sampel-tanah-soil-ring-sample/>. Diakses pada tanggal 12 Januari 2019
- Anrozi, R., dan Yulinah, T. 2017. *Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3*. Jurnal Teknik ITS Vol.6 No.2 Hal.456-458. Surabaya: ITS
- Appenroth Klaus-J. 2014. *Chapter 2, Definition of "Heavy Metals" and Their Role in Biological Systems*. <http://www.springer.com/978-3-642-02435-1>. Diakses pada tanggal 7 Januari 2019.
- Aprilia, D., Dwi, R., Dwi R.A.K. 2015. *Makalah Spektrofotometer Serapan Atom*. Program Studi Farmasi Fakultas Farmasi Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata. Kediri: Institut Ilmu Kesehatan Bhakti Wiyata.
- Aziz, T., R.P. Amalia., dan V. Devah. *Removal Logam Berat Dari Tanah Menggunakan Chelating Agent (EDTA)*. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistika Lingkungan Hidup Indonesia 2017*. Jakarta
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Kecamatan Jetis Dalam Angka 2018*. Mojokerto
- Basta, N. T., J. A. Ryan, and R. L. Chaney. 2005 *Trace Element Chemistry in Residual-Treated Soil: Key Concepts and Metal Bioavailability*. Journal of Environmental Quality 34(1): 49–63.
- Brass, G.M. and W. Strauss. 1981. *Air Pollution Control*. New York: John Wiley & Sons
- Briggs, R. 1999. *POEC5319 Introduction to GIS*. BPPT Bakosurtanal LAPAN. Direktori Remote Sensing dan SIG di Indonesia.
- Brown, G.G. 2005. *Unit Operation*. New York: Wiley

- Chaney, R.L., Angle, J.S., Baker, A.J.M & Li, Y.-M. 1998. *Method for Phytomining of Nickel, Cobalt, and Other Metals From Soil*. US Patent No.5, 711, 784.
- Connel dan Miller. 1995. *Kimia dan Etoksikologi Pencemaran*. Diterjemahkan oleh Koestoer, S., hal.419. Jakarta:UI-Press
- Cookson, J.T.1995. *Bioremediation Engineering : Design and Application*. Toronto:McGraw-Hill, Inc.
- Damanik, M., Madjid. B. 2010. *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. Medan: USU Press.
- Deckers, J., O, Spaargen, and F.Nachtergaele. 2001. *Vertisols : Genesis Properties and Soilscape Management for Sustainable Development*.
- DeMers, M.N. 2003. *Fundamentals of Geographic Information Systems. Second Edition pp.636*. New York:John Wiley and Sons, Inc.
- Dhaahir, M.2012.*Beberapa Software dalam SIG Beserta Kelebihan dan Kekurangannya*. Makalah Geografi Program Studi Pendidikan Geografi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Tadulako. Palu: Universitas Tadulako
- Driessen, P.M and R. Dudal. 1989. *Lecture Notes on The Geography, Formation, Properties, and Use of The Major Soils of The World*. Wagenigen: Agricultural University
- Duffus, J.H. 2002. *Heavy metals a meaningless term*. (IUPAC Technical Report) Pure Appl. Chem. Vol.74,No.5: 793-807. February 2002.Laila, N., Gigih, P.2017.*Kesediaan Masyarakat Menerima Kompensasi Dari Pencemaran Limbah B3 Di Kabupaten Mojokerto:Contingen Valuation Method*. Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan Vol.10,No.2.Februari 2017:75-76
- Erfandy, D dan Juarsah, I. 2014. *Konservasi Tanah Menghadapi Perubahan Iklim*. Balitbang (Balai Penelitian Tanah).
- ESRI.2004. *GIS by ESRI (Environment Science & Research Institute)*. California:ESRI Inc.
- Faust, S.D. and O.M. Aly. 1981. *Chemistry of Natural Waters*. Michigan:Ann Arbor Science Publishers, Inc.pp. 399.

- Gusnita, D.2010.*Analisis Emisi (CO, HC, dan Opasitas) Hasil Uji Petik Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta*. Prosiding Seminar Nasional. Bandung : LAPAN.
- Gusnita, D.2012. *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Di Udara Dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal*. Berita Dirgantara Vol. 13 No.13, 93-101.Bandung:LAPAN
- Hakim, L. 2005. Remediasi Tanah Terkontaminasi Logam Berat Krom (Cr) dengan Teknik Remediasi Elektrokinetik. *Jurnal Teknik Lingkungan UII* Vol.2 No.2 Februari 2005.Yogyakarta:UII
- Hardiani, H., Kardiansyah, T., dan S.Sugesty. 2011. *Bioremediasi Logam Timbal (Pb) Dalam Tanah Terkontaminasi Limbah Sludge Industri Kertas Proses Deinking*. Bandung: Balai Besar Kertas dan Pulp
- Hardjowigeno, S. 2007. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademia Pressindo
- Heny C. dan E. Susanti. 2009. *Karakteristik Limnologis Kolong Bekas Tambang Timah di Pulau Bangka*. *Limnotek*. XVI (2): 119-131.
- Hidayat, M., Laiyanah., Nanda, S., Yenni, A.P.,Nurul, M. 2017.*Analisa Vegetasi Tumbuhan Menggunakan Metode Transek Garis (Line Transek) Di Hutan Seulawah Agam Desa Pula Kemukiman Lamteuba Kabupaten Aceh Besar*.Prosiding Seminar Nasional Biotik 2017 Program Studi Pendidikan Biologi FTK UIN Ar-Raniry Banda Aceh.Banda Aceh:UIN Ar-Raniry Banda Aceh
- Hoffman, R.2007.*Laboratory Safety Manual*.New Jersey:Princeton University
- Holleman, A.F and E.Wiberg. 2001. *Inorganic Chemistry*. Germany
- John, D.A., and Leventhal, J.S.1995. *Bioavailability of Metals*. In Edward A. Du Bray (Ed.), Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models. U.S Department of Interior, U.S Geological. Denver, Colorado.
- Jones, L. H. P. and S. C. Jarvis. 1981. *The Fate of Heavy Metals*. D. J. Green and M. H. B. Hayes (Eds.). in *The Chemistry of Soil Processes* p.593. New York :John Wiley & Sons

- Kahar, M. 2006. *Permodelan Dispersi Pencemaran Tanah 1D.Laporan Tugas Akhir Jurusan Ilmu Kimia*. Palembang: Universitas Sriwijaya
- Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor 2 Tahun 1998 tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan.
- Krishnamurti, G.S.R., P.M. Huang, K.C.J. Van-Rees, L.M. Kozak, and H.P.V. Rostad. 1995. *A New Soil Test Method for the Determination of Plant Available Cadmium in Soils*. *Journal Communication Soil Science Plant Analytical*. 26: 857 - 867.
- Kurnia, U.,H. Suganda, R. Saraswati, Nurjaya.2009.*Teknologi Pengendalian Pencemaran Lahan Sawah*. Balitbang Departemen Pertanian
- Kurniawan. 2013. *Pengaruh Kegiatan Penambangan Timah terhadap Kualitas Air Laut dan Kualitas Ikan Kakap Merah (Lutjanus campechanus) hasil tangkapan di wilayah pesisir Kabupaten Bangka Provinsi Kepulauan Bangka Belitung*. Tesis.Semarang: Magister Manajemen Sumberdaya Pesisir dan Pantai Universitas Diponegoro
- Kusuma, Z. 2012. *Remediasi Tanah Tercemar Pb Tailing dengan Menggunakan Tanaman Indogenous dan Biochar*. Malang: Universitas Brawijaya
- Lasat, M.M. 2000.*Phytoextraction of Metals from Contaminated Soil : A Review of Plant/Soil/Metal Interaction and Assesment of Pertient Agronomic Issues*.Tersedia dalam : <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/JHSR/vol2no5.pdf> . Diakses pada tanggal 12 Februari 2003
- Mc.Cabe, J.1950. *Operasi Teknik Kimia*.Jakarta:Erlangga
- McLaren, R. G., L. M. Clucas, and M. D. Taylor 2005 *Leaching of Macronutrients and Metals from Undisturbed Soils Treated with Metal-Spiked Sewage Sludge : Distribution of Residual Metals*. *Australian Journal of Soil Research* 43(2): 159–170.
- Mengel, K and Kirkby.1987.*Principle of Plant Nutrition.4th Edition*. International Potash Institute:Bern

- Ministry of State for Population and Environment Republic Indonesia and Dalhousie University Canada.1992. *Environmental Management in Indonesia : Report on Soil Quality Standards for Indonesia (interim report)*. (Tidak dipublikasikan).
- Mulyadi, R., Artant, dan D. Nursyamsi. 2010. *Identifikasi Pencemaran Logam Berat Pb pada Lahan Sawah di DAS Solo Hilir Kabupaten Bojonegoro. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional inovasi Sumberdaya Lahan. Buku 1. Kebijakan dan Informasi Sumberdaya lahan dan Lingkungan*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Notohadiprawiro, T.1993.*Logam Berat Dalam Pertanian.Seminar di PPKS, Medan 28 Agustus 1993*. Yogyakarta: direpro oleh Jurusan Ilmu Tanah UGM
- Novandi, R., Hayati, R., dan T.A.Zahara. 2015. *Remediasi Tanah Tercemar Logam Timbal (Pb) Menggunakan Bayam Cabut (Amaranthus tricolor L.)*. Pontianak: Universitas Tanjungpura
- Nurrahman, Y.A.,Otong, S.D.,Rita, R.2012.*Struktur dan Komposisi Vegetasi Mangrove Di Pesisir Keamatan Sungai Raya Kepulauan Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat*.Jurnal Perikanan dan Kelautan Vol.3 No.1:99-107 Maret 2012. Bandung:Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Padjajaran
- Onrizal.2005. *Restorasi Lahan Terkontaminasi Logam Berat*. E-learning USU Repository.Medan:Universitas Sumatera Utara
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta:PT. Rineka Cipta
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 45 Tahun 2006 tentang Pengelolaan Lumpur Bor, Limbah Lumpur dan Serbuk Bor Pada Kegiatan Pengeboran Minyak dan Gas Bumi.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- Peraturan Walikota Mojokerto Nomor 35 Tahun 2016 tentang Standar Harga Satuan Pokok Kegiatan Pemerintah Mojokerto Tahun 2017.
- Pickering, W.F. 1980. *Zinc Interaction with Soil and Sediment Components*. In Nriagu JO. (Ed.): *Zinc in the environment-Part 1: Ecological cycling pp 72-112*. New York:John Wiley & Sons,
- Piotrowski, J.K. and D.O. Coleman. 1980. *Environmental Hazard of Heavy Metal: Summary Evaluation of Lead, Cadmium, and Mercury*. WHO Geneva: Switzerland
- Prahasta, Eddy. 2002. *Sistem Informasi Geografis: Konsep-Konsep Dasar Informasi Geografis*. Bandung: Informatika Bandung.
- Purwanta, W. 2005. *Penyisihan Timbal (Pb) Dari Tanah Terkontaminasi Dengan Proses Elektromitigasi*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
- Quevauviller, P.H.1998.*Methodologies In Soil and Sediment Fraction Studies, Single and Sequential Extraction Procedures*. Royal Society of Chemistry. United Kingdom
- Rais, F.2005. *Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dalam Pengembangan Pariwisata*. Tersedia dalam : <https://jurnal.uns.ac.id/prosbi/article/download/18780/14896>. Diakses pada tanggal 13 Januari 2019
- Raimon. 1993. *Perbandingan Metode Destruksi Basah dan Kering Secara Spektrofotometri Serapan Atom*. Lokakarya Nasional Jaringan Kerjasama Kimia Analitik Indonesia. Yogyakarta.
- Shevenell, L., Connors, K.A., and Henry, C.D. 1999. *Control on Pit Lake Water Quality at Sixteen Open Pit Mines in Nevada*. Appl. Geoch. 14: 669-687.
- Skoog, Holler, Nieman.1998.*Principles of Instrumental Analysis, 5th ed*.USA:Saunders College Publishing.
- Soepraptohardjo, M.1976. *Jenis-jenis Tanah di Indonesia. Bahan Kuliah Pendidikan Interpretasi Citra Penginderaan*

- Jauh dan Survey Terpadu 60p.* Yogyakarta: UGM Bakosurtanal
- SNI 6989.8.2009. *Air dan Limbah Bagian 8 : Cara Uji Timbal (Pb) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala.*
- Sudarmaji, J. Mukono, Corie.2006. *Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan.* Jurnal Kesehatan Lingkungan. Vol.2, No.2. Januari 2006:129-142.
- Suganda, H., Achmad, R., Sutono.2006. *Buku Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya.* Balitbang Departemen Pertanian. Jakarta
- Surgiharyanto, H. 2009. *Tanah-Tanah Pertanian di Indonesia.* Prosiding Seminar Sumber Daya Tanah, Iklim dan Pupuk. Bogor: Puslittanak
- Sumardi. 1981. *Metode Destruksi Contoh Secara Spektrofotometer Serapan Atom dalam Analisa Unsur.* Prosiding Seminar Nasional Metode Analisis. LIPI
- Sunarya, Y. 2007. *Kimia Umum.* Bandung: Grafisindo
- Sutanto, R. 2001. *Mineralogy, Charge Properties and Classification of Soils on Volcanic Materials and Limestone in Central Java (Indonesia).* PhD-Thesis. Belgium: State University Ghent.
- Sutrisno, N., dan Mulyadi. 2008. *Identifikasi Pencemaran Lahan Sawah Akibat Limbah Pabrik Kertas. Buku 1 dalam Prosiding Seminar Nasional Sumber Daya Lahan dan Lingkungan Pertanian.* Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- The Federal Technology Roundtable.2002. *Treatment Technologies Screening Matrix.* Tersedia dalam : <https://frtr.gov/archives.htm>. Diakses pada tanggal 13 Januari 2019.
- US.EPA.1993. *Clean Water Act, sec. 503.* (U.S. Environmental Protection Agency Washington, D.C.). 58(32)
- Van Wambeke, A.1992. *Soils of The Tropics : Properties and Appraisal 253-266p.* New York: McGraw-Hill, Inc
- Verloo, M.1993. *Chemical Aspect of Soil Pollution.* ITC-gen Publication Series No.4, 17-46.

- Wibowo, K.M., Kanedi, I., Juju, J. 2015. *Sistem Informasi Geografis (SIG) Menentukan Lokasi Pertambangan Batu Bara Di Provinsi Bengkulu Berbasis Website*. Jurnal Media Infotama Vol. 11 No.1, Februari 2015. Bengkulu:Program Studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Dehasen Bengkulu
- Widowati, W. 2008. *Efek Toksik Logam*. Yogyakarta:Penerbit Andi
- Widianingrum, Miskiyah, dan Suismono.2007.*Bahaya Kontaminasi Logam Berat Dalam Sayuran Dan Alternatif Pencegahannya : Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian 3, Hal 16-27*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Yong, R.N., A.M.O. Mohamed, & S.P. Warkenting. 1992. *Principles of Contaminant Transport in Soils*. Development in Geotechnical Engineering, 73. Elseviser. Amsterdam. XIV + 327 h.
- Zibar, Z. 2015. *Laporan Praktikum Analsis dan Permodelan Oseanografi : Model Adveksi dan Difusi 1D*. Bogor: Institut Pertanian Bogor

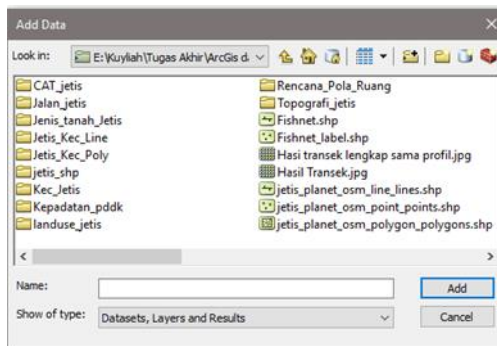
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A

PEMBUATAN PETA TRANSEK 1 KM X 1 KM MENGGUNAKAN ARCGIS

Langkah 1. Menambahkan data berbentuk *.shp* (*shapefile*) pada *Worksheet Project*.

Setelah membuka perangkat lunak *ArcGIS* (*ArcMap 10.3*) , dan kemudian menambahkan data *.shp* dengan menggunakan opsi *toolbar Add Data*. Selanjutnya memilih data *.shp* yang akan digunakan. Pada pembuatan peta transek kali ini akan menggunakan beberapa data, yaitu berupa data spasial jalan, batas wilayah desa, batas wilayah kecamatan, dan tata guna lahan. Pada Gambar 4.2 berikut akan ditampilkan opsi *toolbar Add Data*.

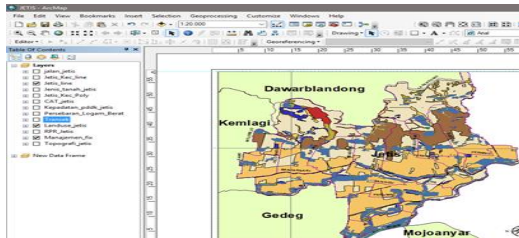


Gambar A.1. Tampilan *Add Data* pada *ArcGIS* (*ArcMap 10.3*)

Langkah 2. Mengatur *Layer* untuk *Workspace* dalam *Worksheet Project*.

Tahapan berikutnya yaitu memilih *layer* yang akan digunakan untuk pembuatan peta transek. *Layer* yang akan digunakan yaitu *layer* batas wilayah Kecamatan Jetis untuk mengetahui secara jelas dan juga secara administratif batas wilayah Kecamatan Jetis, batas wilayah Kelurahan/Desa untuk mengetahui batas tiap Kelurahan/Desa, tata guna lahan untuk mengetahui fungsi lahan pada setiap titik sampel nantinya dan yang terakhir yaitu jalan raya untuk memudahkan dalam *tracking* jalur saat pengambilan sampel. Pada Gambar 4.3 berikut

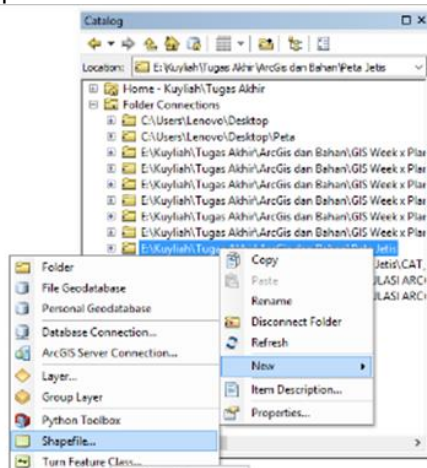
meupakan tampilan dari *Worksheet Project* setelah ditambahkan data dan *layer*.



Gambar A.2. Tampilan *Worksheet Project* setelah penambahan *layer*.

Langkah 3. Membuat *Layer* untuk Peta Transek dalam *Worksheet Project*.

Setelah menambahkan dan mengatur *layer*, tahapan selanjutnya adalah membuat *layer* untuk perwujudan peta transek. Pada opsi *toolbar Table Of Content*, dipilih opsi *New* yang dilanjutkan dengan memilih *shapefile* yang akan digunakan pada folder penyimpanan. Berikutnya, *layer* baru yang akan digunakan diberi nama “Transek”. Pada Gambar 4.4 berikut merupakan tampilan dari opsi *toolbar Table Of Content*.

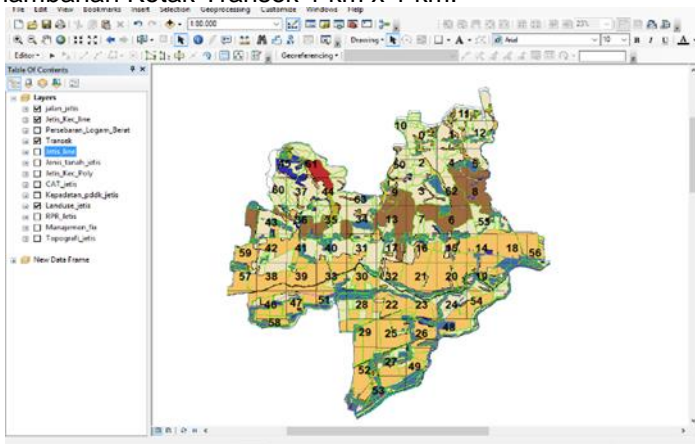


Gambar A.3. Tampilan Opsi *Toolbar Table Of Content*.

Langkah 4. Membuat Kotak Transek 1km x 1km dalam *Worksheet Project*.

Setelah menambahkan *layer* Transek, tahapan selanjutnya yaitu membuat kotak transek 1 km x 1 km. Kotak transek dibuat dengan menggunakan opsi *Toolbar Editor* dan pilih opsi *Start Editing*. Pada *Toolbar Editor* dipilih opsi lainnya yaitu *Create Future*, dan selanjutnya pilih opsi *Editing Window*. Transek yang akan dibuat berbentuk persegi maka dipilih opsi *Rectangle*.

Selanjutnya, pilih opsi *Toolbar Drawing* dan pilih *Rectangle*. Dalam opsi *Rectangle* lebar dan panjang ditentukan sebesar 1 km x 1 km. Dengan *Toolbar Editor* sebelumnya, dilakukan penyalinan (*copy-paste*) kotak transek 1 km x 1 km berulang kali hingga seluruh wilayah Kecamatan Jetis telah ter-cover seutuhnya oleh Kotan Transek 1 km x 1 km. Pada Gambar 4.5 berikut merupakan tampilan *Worksheet Project* setelah penambahan Kotak Transek 1 km x 1 km.



Gambar A.4. Tampilan *project* Peta Kecamatan Jetis dengan Transek 1 km x 1 km.

Langkah 5. Melakukan *Layouting* dan Penambahan Legenda pada Peta dalam *Worksheet Project*.

Pada opsi *toolbar View*, dipilih opsi *Layout View* untuk penambahan keterangan-keterangan. Tambahkan judul peta dan identitas instansi terkait. Selanjutnya pada *toolbar Insert* pilih opsi *Legend* untuk menambahkan legenda yang dibutuhkan,

opsi *Scale* untuk menentukan skala, dan *North Arrow* untuk menambahkan gambar arah mata angin. Koordinat peta ditambahkan menggunakan opsi *properties* pada *project* lalu memilih opsi *grids* dan kemudian *Graticule*.

LAMPIRAN B

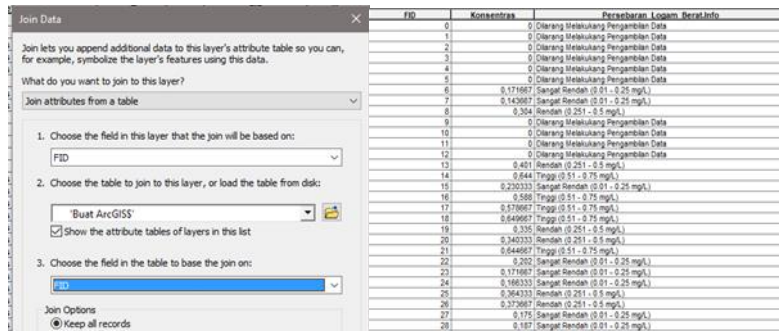
PEMBUATAN PETA PERSEBARAN LOGAM TIMBAL (Pb) MENGUNAKAN ARCGIS

Langkah 1. Melakukan *Export Map*

Setelah *project* Peta Transek dibuka, kemudian pilih opsi *toolbar export* pada *layer* “Transek’ untuk menduplikasi *layer* dan juga untuk melanjutkan proses *editing*. Selanjutnya memilih *folder* lokasi untuk penyimpanan yang diinginkan dan diberi nama “Persebaran Logam Berat”.

Langkah 2. Mengkoneksikan *layer* dengan *file* data dari *Microsoft Excel*.

Pada *layer* “Persebaran Logam Berat”, dipilih opsi *toolbar open attribute table*. Dalam *window toolbar open attribute table*, dipilih opsi *toolbar join and relate* kemudian tekan opsi *join*. Selanjutnya, dalam *window join* akan dipilih tabel yang akan dikoneksikan dan menginput data *Microsoft Excel* beserta *sheet* yang memiliki data konsentrasi total logam berat. Pada Gambar 4.13 berikut ditampilkan tampilan *window join* dan penginputan data *Microsoft Excel*.



Gambar B.1. Tampilan Opsi *Window Join* pada *ArcGIS (ArcMap 10.3)* dan Data yang Sudah Terkoneksi.

Langkah 3. Memberikan Keterangan (Legenda) Konsentrasi.

Setelah data *Microsoft Excel* terkoneksi, tahapan selanjutnya pilih opsi *toolbar select by attribute*, kemudian memilih tabel yang telah terkoneksi yang akan dijadikan sebagai acuan dalam pembagian konsentrasi persebaran logam yaitu tabel “Konsentrasi”, lalu diberikan keterangan (legenda) tambahan pada

opsi *toolbar field calculator*. Berikut dijelaskan keterangan (legenda) tambahan yang ditulis.

- Konsentrasi “0”, mengartikan pada titik tersebut “**Tidak Boleh Dilakukan Pengambilan Sampel**”.
- Konsentrasi “0,0001 mg/L hingga 0,5 mg/L”, mengartikan pada lokasi tersebut konsentrasi logam timbal “**Sangat Rendah**”.
- Konsentrasi “0,5 mg/L hingga 1 mg/L”, mengartikan pada lokasi tersebut konsentrasi logam timbal “**Rendah**”.
- Konsentrasi “1 mg/L hingga 1,5 mg/L”, mengartikan pada lokasi tersebut konsentrasi logam timbal “**Sedang**”.
- Konsentrasi “1,5 mg/L hingga 2 mg/L”, mengartikan pada lokasi tersebut konsentrasi logam timbal “**Tinggi**”.
- Konsentrasi “bernilai lebih dari 2 mg/L”, mengartikan pada lokasi tersebut konsentrasi logam timbal “**Sangat Tinggi**”.

Langkah 4. Memberikan Keterangan (Legenda) Warna dan Melakukan *Layouting*.

Setelah memberikan keterangan untuk pembagian konsentrasi, tahapan selanjutnya adalah memberikan keterangan warna pada setiap keterangan konsentrasi. Pemberian keterangan warna berdasarkan kepekatan warna mengikuti setiap keterangan konsentrasi. Kepekatan warna akan menunjukkan besaran nilai konsentrasi. Untuk keterangan “Tidak Boleh Dilakukan Pengambilan Sampel” diberi warna abu-abu, sedangkan untuk keterangan “Sangat Rendah” hingga “Sangat Tinggi” diberi warna hijau pudar hingga hijau pekat.

Setelah penambahan keterangan (legenda) warna, keterangan tersebut akan ditambahkan kedalam *project* Peta Persebaran Logam Berat. Pada *toolbar view*, dipilih opsi *Layout View*. Selanjutnya, tambahkan judul peta dan identitas instansi yang mengeluarkan (ITS) peta tersebut. Kemudian, pada *toolbar insert* dipilih opsi *Legend* untuk menambahkan keterangan (legenda) konsentrasi dan warna yang telah ditentukan, opsi *scale* untuk menentukan skala dan opsi *North Arrow* untuk menambahkan gambar arah mata angin. Selanjutnya, ditambahkan koordinat peta dengan menggunakan opsi *grids* lalu *Graticule*.

LAMPIRAN C
PEMBUATAN LARUTAN NaOH DAN PENAMBAHAN
LARUTAN NaOH

➤ Pembuatan Larutan NaOH 10 mol/L :

Massa Jenis Larutan NaOH yang diminta = 10 mol/L
= 1 mol/100 ml
Massa Jenis Bubuk NaOH = 40 g/mol
= 400 g/10 mol
= 40 g/1 mol

• Perhitungan :

Wadah tempat larutan NaOH = 25 ml
Massa Jenis larutan NaOH = 0,25 mol/25 ml
= 1 mol/100 ml
= 10 mol/1L

Jumlah bubuk NaOH yang dibutuhkan :

1 mol x X gram = 0,25 mol x 40 gram
X gram = $\frac{0,25 \text{ mol} \times 40 \text{ gram}}{1 \text{ mol}}$
= 10 gram

Dibutuhkan sebanyak 10 gram bubuk NaOH 40 g/mol untuk membuat larutan NaOH 10 mol/L dalam wadah botol 25 ml.

➤ Penambahan larutan NaOH 10 mol/L kedalam larutan EDTANa₂ :

Penambahan larutan NaOH sebanyak ± 3,706 ml hingga didapatkan pH larutan EDTANa₂ sebesar 8,02.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN D
PEMBUATAN LARUTAN AQUA REGIA

➤ Pembuatan larutan *Aqua Regia*

Jumlah Sampel yang akan diberi *Aqua Regia* = 159
Jumlah pemberian *Aqua Regia* @ 1 sampel = 2,5 ml
Jumlah total *Aqua Regia* yang dibutuhkan =
 $159 \times 2,5\text{ml} = 397,5\text{ml}$

• Perhitungan :

Perbandingan HCl : HNO₃ = 3 : 1

Jumlah HCl yang dibutuhkan :

$\frac{397,5 \text{ ml}}{4} = 99,375 \text{ ml}$

4

= 99,375 ml x 3 = 298,125 ml

Jumlah HNO₃ yang dibutuhkan :

$\frac{397,5 \text{ ml}}{4} = 99,375 \text{ ml}$

4

= 99,375 ml x 1 = 99,375 ml

Dibutuhkan sebanyak 298,125 ml HCl dan 99,375 ml HNO₃ untuk membuat larutan *Aqua Regia* yang dibutuhkan untuk kebutuhan ekstraksi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN E

PERHITUNGAN KONVERSI KONSENTRASI (mg/L >> mg/kg)

Dikarenakan pada penelitian ini dilakukan uji konsentrasi logam berat kromium pada tanah, sehingga konsentrasi yang sudah didapatkan dalam bentuk mg/L selanjutnya akan diubah dalam bentuk satuan massa yaitu Mg/Kg dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Konsentrasi} \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} = \frac{\text{Konsentrasi} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times \text{volume (mL)}}{\text{Berat sampel (kg)} \times 1000}$$

Dengan berat sampel untuk pengujian Wet Digestion adalah 2 gram dan 5 gram untuk Bioavailability. Lalu kedua sampel tersebut dilarutkan dengan *distilled water* hingga volume mencapai 50 mL.

Sehingga berikut merupakan contoh perhitungan pada titik 6:

➤ *Wet Digestion* :

$$\text{Konsentrasi} \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} = \frac{1.59 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 50 \text{ (mL)}}{0.002 \text{ (kg)} \times 1000} = 39.58 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}}$$

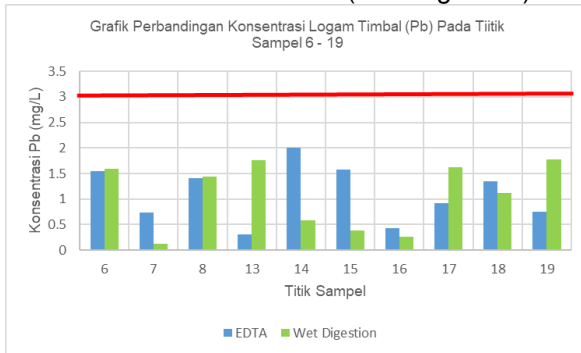
➤ *Bioavailability* :

$$\text{Konsentrasi} \frac{\text{mg}}{\text{Kg}} = \frac{1.55 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) \times 50 \text{ (mL)}}{0.005 \text{ (kg)} \times 1000} = 15.53 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}}$$

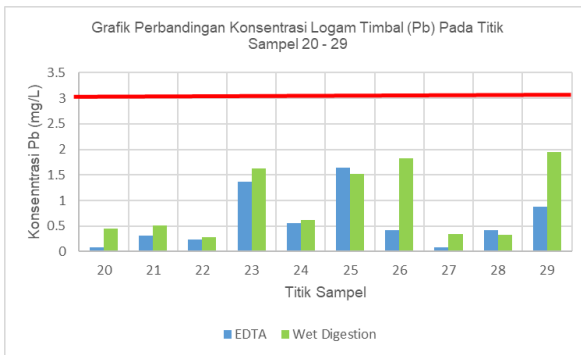
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN F
GRAFIK PERBANDINGAN NILAI KONSENTRASI LOGAM BERAT TIMBAL (Pb)

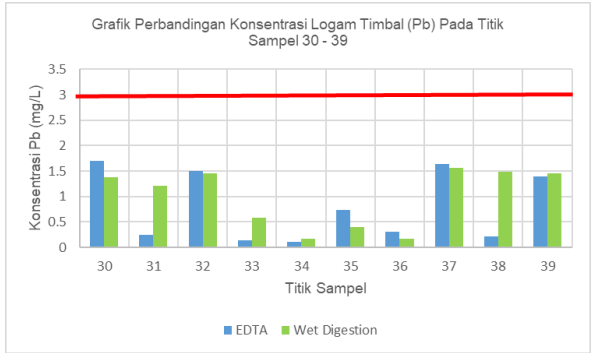
- Grafik Perbandingan Nilai Konsentrasi Logam Berat Timbal (Pb) dari Metode Ekstraksi EDTA dengan Metode Ekstraksi Pencernaan Asam (*Wet-Digestion*).



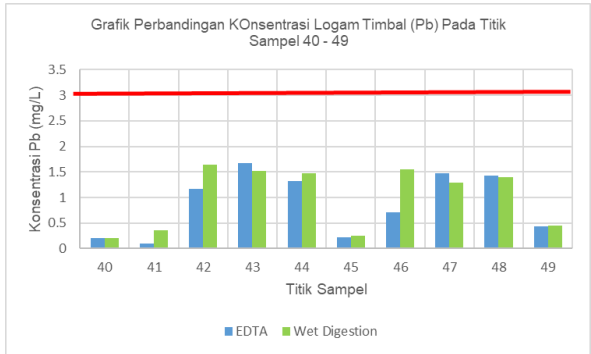
Perbandingan Konsentrasi Logam Timbal (Pb) Pada Titik Sampel 6 – 19



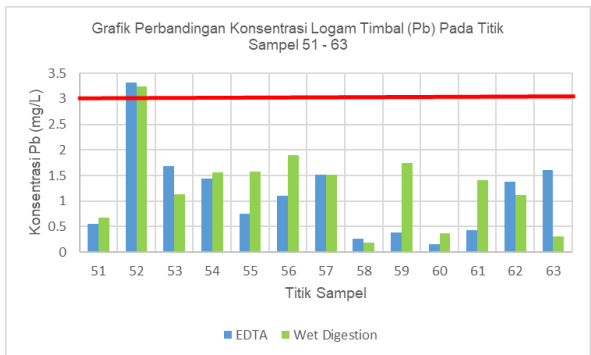
Perbandingan Konsentrasi Logam Timbal (Pb) Pada Titik Sampel 20 – 29



Perbandingan Konsentrasi Logam Timbal (Pb) Pada Titik Sampel 30 – 39



Perbandingan Konsentrasi Logam Timbal (Pb) Pada Titik Sampel 40 – 49



Perbandingan Konsentrasi Logam Timbal (Pb) Pada Titik Sampel 51 – 63

LAMPIRAN G DOKUMENTASI KEGIATAN

- Dokumentasi Kegiatan :
- Pengambilan Sampel



1. Mengecek Lokasi dan Koordinat



2. Meletakkan Alat



3. Mengamati Karakteristik Tanah



4. Memindahkan Alat



5. Mengeluarkan Smpel dari Alat

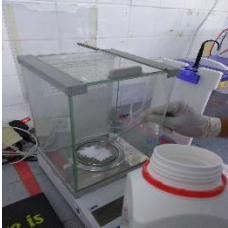


6. Menyimpanan Sampel



7. Menutup Lubang Sampel

- Pengekstrakan EDTA



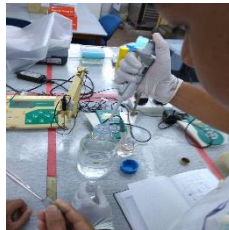
1. Menimbang Bubuk EDTA



2. Melarutkan Bubuk EDTA



3. Membuat Larutan NaOH



4. Menambahkan NaOH



5. Mengecek pH larutan EDTA



6. Menimbang Sampel (5 gr)



7. Melarutkan Sampel dengan EDTA



8. Mengocok Sampel



9. Men-Centrifuge Sampel



10. Menyaring Sampel



11. Menyimpan Sampel dalam Kulkas (4°C)

- Pencernaan Asam (*Wet-Digestion*)



1. Menimbang Sampel (2 gr)



2. Memasukkan Sampel



3. Menambahkan HNO_3 69%



4. Memanaskan Sampel



5. Menambahkan H_2O_2 30%



6. Memanaskan Sampel



7. Menambahkan *Aqua Regia*



8. Menambahkan Air Nyah-Ion



9. Menyaring Sampel



10. Menyimpan Sampel

- Kegiatan Join Lab di UKM (Universiti Kebangsaan Malaysia)



Pertemuan dengan Prof. Siti Rozhaimah selaku Penanggung Jawab dan Kepala Departemen Teknik Kimia UKM



Presentasi Tugas Akhir dengan Prof.Siti Rhozaimah beserta Jajaran Anggota Laboratorium Environmental Departemen Teknik Kimia UKM



Breifeing untuk Kegiatan di Laboratorium dengan salah satu Anggota sekaligus Penanggung Jawab di Laboratorium Environmental Departemen Teknik Kimia UKM

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

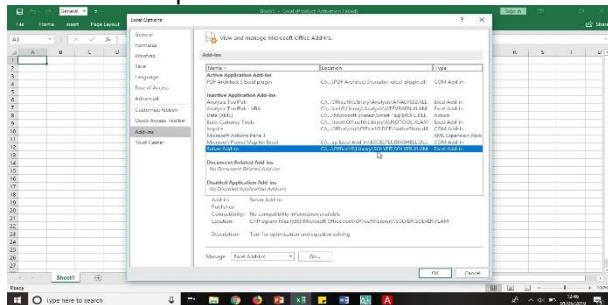
LAMPIRAN H

PENAMBAHAN SOLVER DALAM MICROSOFT EXCEL

➤ Cara Penambahan Solver dalam Microsoft Excel.

Langkah 1 : Memilih Solver Add-Ins dalam Toolbar

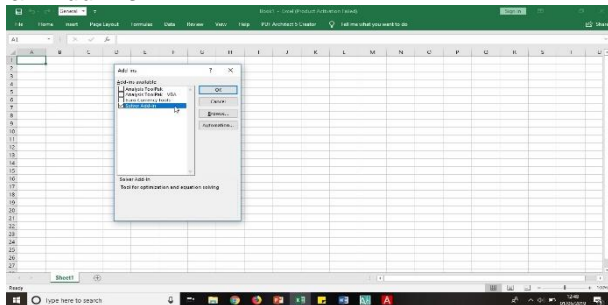
Pada opsi toolbar *File* , dipilih opsi *Options*. Pada toolbar *Options* terdapat opsi *Add-Ins*, kemudian dipilih opsi *Add-Ins*. Pada opsi *Add-Ins* terdapat pilihan *Solver Add-Ins* kemudian dipilih. Setelah itu pada kolom *Manage* didalam opsi *Add-Ins* dipilih *Go*. Pada gambar berikut akan ditampilkan *interface toolbar Add-Ins*.



Gambar G.1.Interface Toolbar Add-Ins

Langkah 2 : Menambahkan Solver Add-Ins kedalam Worksheet

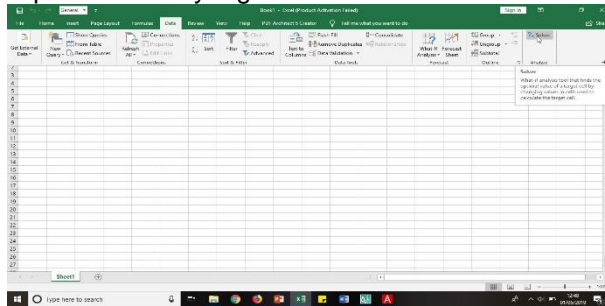
Setelah memilih opsi *Go*, akan muncul berupa kotak dialog yang berisi beberapa pilihan *Add-Ins*. Dalam kotak dialog tersebut pilih *Solver Add-Ins* lalu pilih *OK*. Pada gambar berikut akan ditampilkan Kotak Dialog Pilihan *Add-Ins*.



Gambar G.2.Kotak Dialog Pilihan Add-Ins

Langkah 3 : Memastikan *Solver Add-Ins* telah masuk dalam *Worksheet*

Setelah menekan *OK* pada Kotak Dialog, *Solver* akan otomatis ter-*install* didalam opsi *toolbar Data* pada *Worksheet*. Pada gambar berikut ini akan ditampilkan *Solver* yang telah berhasil ditambahkan.



Gambar G.3. *Solver* Ditambahkan dalam *Worksheet*

LAMPIRAN I
TABEL TREATMENT TECHNOLOGIES SCREENING MATRIX

Rating Codes ● Above Average ● Average ○ Below Average N/A - "Not Applicable" ID - "Insufficient Data" ◇ - Level of Effectiveness highly dependent upon specific contaminant and its application	Development Status	Treatment Train	Relative Overall Cost & Performance						Availability	Nonhalogenated VOC's	Halogenated VOC's	Nonhalogenated SVOC's	Halogenated SVOC's	Fuels	Inorganics	Radionuclides	Explosives									
			O&M	Capital	System Reliability & Maintainability	Relative Costs	Time																			
Soil, Sediment, Bedrock, and Sludge																										
3.1 In Situ Biological Treatment																										
4.1 Bioventing	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◇	●	○	●	○	◇	○										
4.2 Enhanced Bioremediation	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	◇	●	○	◇	●										
4.3 Phytoremediation	●	●	●	●	○	●	○	●	●	●	●	◇	●	●	○	○										
3.2 In Situ Physical/Chemical Treatment																										
4.4 Chemical Oxidation	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○	◇	○	●										
4.5 Electrokinetic Separation	●	○	○	●	●	○	●	●	●	●	●	●	○	●	●	○										
4.6 Fracturing	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○										
4.7 Soil Flushing	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○	○										
4.8 Soil Vapor Extraction	●	○	○	●	○	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○										
4.9 Solidification/Stabilization	●	●	●	○	●	●	●	●	○	○	●	●	○	●	●	○										
3.3 In Situ Thermal Treatment																										
4.10 Thermal Treatment	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○										
3.4 Ex Situ Biological Treatment (assuming excavation)																										
4.11 Biopiles	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◇	●	◇	○	○										
4.12 Composting	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◇	●	○	○	●										
4.13 Landfarming	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◇	●	○	○	◇										
4.14 Slurry Phase Biological Treatment	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	◇	●	◇	○	●											
3.5 Ex Situ Physical/Chemical Treatment (assuming excavation)																										
4.15 Chemical Extraction	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○										
4.16 Chemical Reduction /Oxidation	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○	●										
4.17 Dehalogenation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○										
4.18 Separation	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○										
4.19 Soil Washing	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○										
4.20 Solidification/Stabilization	●	●	●	○	●	●	●	●	○	○	●	●	○	●	●	○										

Lanjutan..

Rating Codes ● Above Average ○ Average ○ Below Average N/A - "Not Applicable" ID - "Insufficient Data" ◇ - Level of Effectiveness highly dependent upon specific contaminant and its application	Development Status	Treatment Train	Relative Overall Cost & Performance						Availability	Nonhalogenated VOC's	Halogenated VOC's	Nonhalogenated SVOC's	Halogenated SVOC's	Fuels	Inorganics	Radionuclides	Explosives
			OkM	Capital	System Reliability & Maintainability	Relative Costs	Time										
			3.4 Ex Situ Biological Treatment (assuming excavation)														
4.11 Biopiles	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	○	◇	●	◇	○	○	
4.12 Composting	●	●	●	●	●	●	○	●	○	○	○	◇	●	○	○	●	
4.13 Landfarming	●	●	●	●	●	●	○	●	○	○	○	○	●	○	○	◇	
4.14 Slurry Phase Biological Treatment	●	○	○	○	○	○	○	●	○	●	●	◇	●	◇	○	●	
3.5 Ex Situ Physical/Chemical Treatment (assuming excavation)																	
4.15 Chemical Extraction	●	○	○	○	○	○	○	●	○	○	●	●	○	●	○	○	
4.16 Chemical Reduction /Oxidation	●	○	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.17 Dehalogenation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.18 Separation	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.19 Soil Washing	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.20 Solidification/Stabilization	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3.6 Ex Situ Thermal Treatment (assuming excavation)																	
4.21 Hot Gas Decontamination	○	●	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.22 Incineration	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.23 Open Burn/Open Detonation	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.24 Pyrolysis	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.25 Thermal Desorption	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3.7 Containment																	
4.26 Landfill Cap	●	●	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
4.27 Landfill Cap Enhancements/Alternatives	●	●	○	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
3.8 Other Treatment																	
4.28 Excavation, Retrieval, Off-Site Disposal	●	●	●	●	●	◇	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

Lanjutan..

TABLE 3-1: DEFINITION OF SYMBOLS USED IN THE TREATMENT TECHNOLOGIES SCREENING MATRIX						
Factors		● Above Average	○ Average	○ Below Average	Other	
Development Status Scale status of an available technology		Implemented as part of the final remedy at multiple sites, well documented, understood, etc.	Has been implemented at full scale but still needs improvements, testing, etc.	Not been fully implemented but has been tested (pilot, bench, lab scale) and is promising	◇ Level of Effectiveness highly dependent upon specific contaminant and its application/ design N/A "Not Applicable" I/D "Insufficient Data"	
Treatment Train Is the technology only effective as part of the treatment train?		Stand-alone technology (not complex in terms of number of media/treatment technologies, maybe one "routine" technology in addition)	Relatively simple (two-car train or so), and well understood, widely applied, etc.	Complex (more technologies, media to be treated, generates excessive waste, etc.)		
Relative overall cost and performance	O&M Operation and Maintenance Intensive	Low degree of O&M intensity	Average degree of O&M intensity	High degree of O&M intensity		
	Capital Capital Intensive	Low degree of capital investment	Average degree of capital investment	High degree of capital investment		
	System Reliability/Maintainability The expected range of demonstrated reliability and maintenance relative to other effective technologies		High reliability and low maintenance	Average reliability and average maintenance		Low reliability and high maintenance
	Relative Costs Design, construction, and operations and maintenance (O&M) costs of the core process that defines each and pre-and post-treatment		Low degree of general costs relative to other options	Average degree of general costs relative to other options		High degree of general costs relative to other options
	Time Time required to clean up a "standard" site using the technology	in situ soil	Less than 1 year	1-3 years		More than 3 years for in situ soil
		ex situ soil	Less than 0.5 year	0.5-1 year		More than 1 year for ex situ soil
groundwater		Less than 3 years	3-10 years	More than 10 years for water		
Availability Number of vendors that can design, construct, and maintain the technology		More than 4 vendors	2-4 vendors	Fewer than 2 vendors		
Contaminants Treated Contaminants are classified into eight groups: - Nonhalogenated VOCs - Halogenated VOCs - Nonhalogenated SVOCs - Halogenated SVOCs - Fuels - Inorganics - Radionuclides - Explosives		Effectiveness Demonstrated at Pilot or Full Scale	Limited Effectiveness Demonstrated at Pilot or Full Scale	No Demonstrated Effectiveness at Pilot or Full Scale	Same as above	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Ananda Alfana Maulana, dilahirkan di Mataram, Nusa Tenggara Barat pada tanggal 28 Juni 1997. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 7 Mataram (2003-2009), SMPN 2 Mataram (2009-2012), dan SMAN 1 Mataram (2012-2015). Pada tahun 2015, penulis melanjutkan kuliah di Teknik Lingkungan, FTSLK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Pada masa perkuliahan, penulis pernah aktif sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) pada tahun 2016-2017 sebagai Staff Divisi Kewirausahaan, pernah aktif juga sebagai pengurus Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI) Regional 4 Jawa Timur sebagai Staff Departemen Hubungan Luar, serta aktif juga sebagai *student athlete* di UKM Karate-Do ITS pada tahun 2015-2019 dengan berbagai macam penghargaan tingkat nasional. Penulis pernah melaksanakan Kerja Praktek di PDAM Giri Menang pada tahun 2018 dan juga pernah melaksanakan kegiatan *join-lab* untuk kebutuhan Tugas Akhir di Universiti Kebangsaan Malaysia pada tahun 2019. Untuk informasi lebih lanjut, penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik di alfantanaka3@gmail.com.

