

**IDENTIFIKASI PENCEMARAN LOGAM BERAT PADA  
SEDIMEN SUNGAI BATANG ARAU KOTA PADANG  
BERDASARKAN NILAI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK**

**SKRIPSI**



**Ridha Putri Yanti  
1410441013**

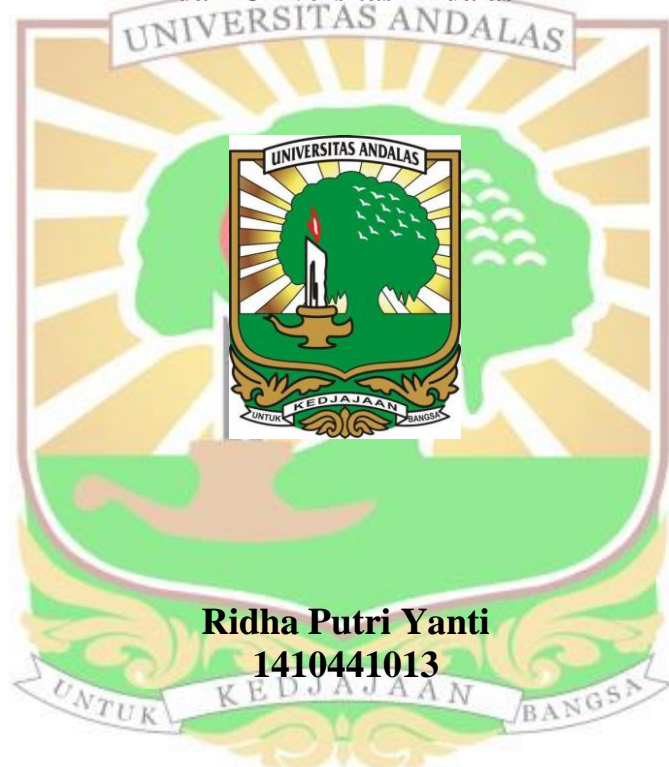
**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG**

**2021**

**IDENTIFIKASI PENCEMARAN LOGAM BERAT PADA  
SEDIMEN SUNGAI BATANG ARAU KOTA PADANG  
BERDASARKAN NILAI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK**

**SKRIPSI**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains  
dari Universitas Andalas**



**Ridha Putri Yanti  
1410441013**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG**

**2021**

**SKRIPSI**

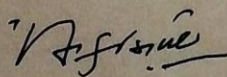
**IDENTIFIKASI PENCEMARAN LOGAM BERAT PADA  
SEDIMEN SUNGAI BATANG ARAU KOTA PADANG  
BERDASARKAN NILAI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK**

disusun oleh:

**Ridha Putri Yanti**  
**1410441013**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 20 Januari 2021

Tim Penguji  
Pembimbing

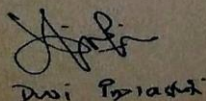


Afdal, M.Si.  
NIP. 197601062000031001

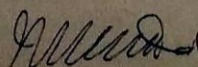
Penguji I

Penguji II

Penguji III

  
Dwi Pujiastuti

Dwi Pujiastuti, M.Si.  
NIP.196908021994122002



Dr. M. Ali Shafii, M.Si.  
NIP.197006121997021002



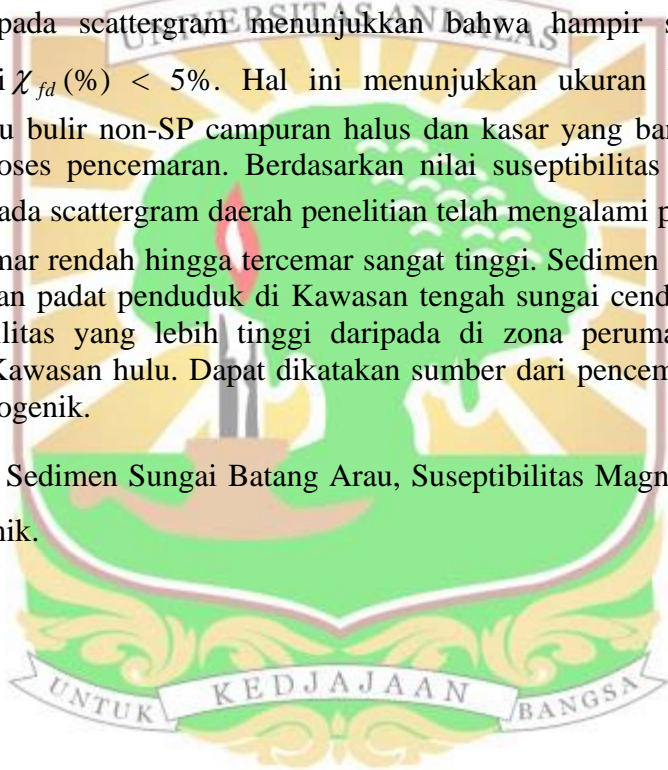
Dr. Marzuki  
NIP.197909082002121002

# IDENTIFIKASI PENCEMARAN LOGAM BERAT PADA SEDIMEN SUNGAI BATANG ARAU KOTA PADANG BERDASARKAN NILAI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK

## ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai identifikasi pencemaran logam berat pada sedimen Sungai Batang Arau Kota Padang berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik. Pengambilan sampel dilakukan mulai dari hulu hingga hilir pada 20 titik dengan kedalaman titik 10 cm. Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik menunjukkan nilai berkisar antara  $116,6 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$  sampai  $914,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ . Pola  $\chi_{fd} (\%)$  pada scattergram menunjukkan bahwa hampir seluruh sampel memiliki nilai  $\chi_{fd} (\%) < 5\%$ . Hal ini menunjukkan ukuran bulir di lokasi penelitian yaitu bulir non-SP campuran halus dan kasar yang banyak dihasilkan dari proses-proses pencemaran. Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik dan pola  $\chi_{fd} (\%)$  pada scattergram daerah penelitian telah mengalami pencemaran dari kategori tercemar rendah hingga tercemar sangat tinggi. Sedimen yang terletak di zona perumahan padat penduduk di Kawasan tengah sungai cenderung memiliki nilai suseptibilitas yang lebih tinggi daripada di zona perumahan non-padat penduduk di Kawasan hulu. Dapat dikatakan sumber dari pencemaran ini adalah sumber antropogenik.

**Kata Kunci :** Sedimen Sungai Batang Arau, Suseptibilitas Magnetik, Bulir non-SP, Antopogenik.





# IDENTIFICATION OF HEAVY METAL CONTAMINATIONS ON SEDIMENTS OF RIVER BATANG ARAU KOTA PADANG BASED ON MAGNETIC SUSEPTIBILITY VALUE

## ABSTRACT

Research has been carried out on the identification of heavy metal pollution in the sediments of the Batang Arau River, Padang City based on the magnetic susceptibility value. Sampling was carried out from upstream to downstream at 20 points with a point depth of 10 cm. The results of the magnetic susceptibility measurement showed that the values ranged from  $116,6 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  to  $914,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$ . The pattern of  $\chi_{fd}(\%)$  in the scattergram shows that almost all samples have a value of  $\chi_{fd}(\%) < 5\%$ . This shows the grain size in the research location, namely the fine and coarse mixture of non-SP grains which are mostly produced from pollution processes. Based on the magnetic susceptibility value and the  $\chi_{fd}(\%)$  pattern in the scattergram, the research area has experienced pollution from low to very high polluted categories. Sediments located in densely populated residential zones in the midstream area to have a higher susceptibility value than in non-densely populated residential zones in the upstream area. It can be said that the source of this pollution is an anthropogenic source.

**Keywords :** Batang Arau River Sediment, Magnetic Susceptibility, Scattergram, Non-SP Grain, Antopogenic.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“Identifikasi Pencemaran Logam Berat Pada Sedimen Sungai Batang Arau Kota Padang”**. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan untuk baginda Nabi Muhammad SAW.

Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas. Selesaiannya penulisan skripsi ini tidak terlepas oleh bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orang tua yang telah membesarkan dan mendidik dengan penuh kasih sayang serta seluruh keluarga besar yang telah memberikan semangat serta motivasi kepada penulis selama perkuliahan.
2. Bapak Afdal, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membimbing penulis serta memberikan semangat dan masukan dalam penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dwi Pujiastuti, M.Si., Bapak Dr.Marzuki, dan Bapak Dr.M.Ali Shafii, M.Si., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.

4. Bapak Dr. Marzuki selaku dosen penasehat akademik yang telah meluangkan waktu dan memberikan arahan dalam menyelesaikan perkuliahan.
5. Bapak Dr. rer. nat. Muldarisnur selaku ketua Jurusan Fisika, serta seluruh Dosen dan staf akademik di lingkungan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam.
6. Semua pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar skripsi ini menjadi lebih baik. Mudah-mudahan skripsi ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun pembaca.



Padang, 20 Januari 2021

Ridha Putri Yanti

## DAFTAR ISI

	halaman
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>BAB I    PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat .....	5
1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah.....	5
<b>BAB II    LANDASAN TEORI .....</b>	<b>6</b>
2.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian.....	6
2.2 Sumber Limbah.....	7
2.3 Logam Berat.....	9
2.4 Kemagnetan Batuan .....	12
2.5 <i>Anisotropy of Magnetic Susceptibility</i> (AMS).....	13
2.5.1 Suseptibilitas Magnetik.....	13
2.5.2 Tensor suseptibilitas .....	14
2.6 <i>Magnetic Susceptibility Meter</i> .....	17
2.7 Hubungan Logam Berat dengan Suseptibilitas Magnetik .....	18
<b>BAB III   METODE PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>



3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	21
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.2.1 Alat .....	21
3.2.2 Bahan Penelitian.....	22
3.3 Teknik Penelitian .....	23
3.3.1 Pengambilan Sampel .....	24
3.3.2 Preparasi Sampel .....	24
3.3.3 Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik .....	24
3.3.4 Pengolahan Data.....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>26</b>
4.1 Hasil Perhitungan Nilai Suseptibilitas Magnetik Sampel.....	26
4.2 Hubungan nilai $\chi_{lf}$ ( $\times 10^{-8}$ m <sup>3</sup> /kg) terhadap $\chi_{fd}$ (%).....	27
4.3 Analisis posisi sampel dari hulu ke hilir terhadap nilai $\chi_{lf}$ .....	29
4.4 Tingkat pencemaran berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik.....	31
4.5 Sumber pencemar sungai Batang Arau berdasarkan scattergram.....	32
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>33</b>
5.1 Kesimpulan .....	33
5.2 Saran .....	34
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>35</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>40</b>

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Implementasi pola putar pengukuran 15 arah .....	16
Gambar 2.2 Penempatan sampel pada rangkaian osilator <i>susceptibility meter</i> ....	18
Gambar 2.3 <i>Scattergram</i> domain magnetik .....	20
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian .....	21
Gambar 3.2 Bartington <i>magnetic susceptibility meter</i> .....	22
Gambar 3.3 Diagram alir penelitian .....	24
Gambar 4.1 <i>Scattergram</i> hubungan antara nilai $\chi_{lf}$ terhadap $\chi_{fd}$ .....	28
Gambar 4.2 Nilai $\chi_{lf}$ sedimen sungai terhadap posisi dari hulu ke hilir .....	29



## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Tingkat pencemaran berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik.....	12
Tabel 2.2 Interpretasi nilai $\chi_{fd}$ (%).....	19
Tabel 4.1 Hasil pengolahan data $\chi_{lf}$ , $\chi_{hf}$ , dan $\chi_{fd}$ .....	26



## DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1 Hasil pengukuran $\chi_{lf}$ sedimen Sungai Batang Arau .....	40
Lampiran 2 Hasil pengukuran $\chi_{hf}$ sedimen Sungai Batang Arau .....	43
Lampiran 3 <i>Pseudo-code</i> AMS di Matlab R2015a .....	47
Lampiran 4 Dokumentasi .....	49





# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Perairan secara alami mengandung berbagai mineral dan senyawa-senyawa kimia yang sangat penting bagi kelangsungan dan keseimbangan perairan maupun ekosistem secara umum. Menurut Dawud dkk., (2016) perkembangan zaman yang semakin modern serta pembangunan telah meningkatkan kualitas hidup manusia. Di sisi lain sangat berpengaruh buruk terhadap kondisi alami perairan melalui peningkatan senyawa baik segi kualitas maupun kuantitasnya. Polutan yang dilepaskan ke atmosfer dan limbah yang dibuang ke sungai oleh aktivitas manusia seperti industri, pertanian, pengelasan, pengecatan, debu, asap kendaraan bermotor dan mobil, limbah rumah tangga, serta pembuangan cuku cadang yang buruk dapat meningkatkan suseptibilitas magnetik di tanah dan sedimen yang akhirnya mengendap dan menumpuk. Partikel-partikel ini biasanya mengandung logam berat dan unsur-unsur beracun (Orosun dkk., 2020).

Penyebab pencemaran pada perairan salah satunya adalah masuknya logam berat ke dalam perairan melalui limbah cair dan padat dari industri dan domestik dalam jumlah yang jauh di atas normal. Logam berat memiliki sifat yang mudah mengikat dan mengendap di dasar perairan kemudian terakumulasi dalam sedimen. Oleh karena itu kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan didalam air (Hutagalung, 1991).

Logam berat yang mengendap dan menumpuk di sedimen menyebabkan logam-logam tersebut terkumpul di dalam rantai kehidupan. Ikan-ikan dan makhluk air lainnya yang terkontaminasi logam berat akan di konsumsi oleh manusia. Jika logam berat masuk ke dalam tubuh manusia dalam jumlah yang banyak akan menyebabkan penyakit yang sangat berbahaya, seperti infeksi sistem syaraf, ginjal, hati, tulang, sistem pernafasan, sistem reproduksi, dan gangguan pencernaan yang bersifat akut dan kronis (Endrinaldi, 2010). Salah satu kasus keracunan logam berat yang pernah terjadi yaitu kasus pencemaran kadmium di Jepang (Itai disease), pada area yang tercemar di lembah sungai Jinzu. Penyakit ini menunjukkan gejala *Neophropathy* dan *Osteomalacia*, penyakit ini timbul akibat adanya kandungan kadmium didalam tubuh. Dinas kesejahteraan masyarakat Toyama mengidentifikasi area yang terpolusi kadmium bahwa sejak tahun 1967, 97% dari 132 penduduk yang meninggal dunia adalah korban Itai-itai disease (Istarani dan Pandebesie, 2014).

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi adanya unsur-unsur yang terdapat di sungai yaitu metode fisika dan kimia (Sudarningsih, 2013). Metode geokimia yang biasa digunakan adalah metode AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*). Namun metode-metode ini mahal dan membutuhkan waktu yang lama. Untuk itu dikembangkan metode kemagnetan batuan sebagai metode alternatif. Menurut Govedarica dkk.(2019) sebagian besar kontaminan logam berat dari tanah, endapan, dan debu diserap oleh mineral Ferrimagnetik. Orosun dkk., (2020) menggunakan parameter magnetik untuk melakukan pengukuran suseptilitas magnetik dan polusi logam berat di sebuah

stasiun *automobile* di Ilorin Nigeria Tengah Utara. Hasil penelitian menunjukkan stasiun memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi dibandingkan di luar stasiun. Peningkatan suseptibilitas magnetik yang tinggi ini menunjukkan konsentrasi mineral ferrimagnetik yang tinggi di dalam tanah dan dengan demikian peningkatan suseptibilitas magnetik menjadi bukti adanya pencemaran akibat aktivitas di stasiun yang merupakan sumber antropogenik.

Sebelumnya, beberapa peneliti telah melakukan identifikasi sebaran logam berat pada sedimen. Ramasamy dkk., (2009) telah melakukan penelitian suseptibilitas magnetik sedimen sungai Ponnaiyar, Tamilnadu, India dengan mengukur suseptibilitas magnetik dan analisis nilai suseptibilitas magnetik terhadap  $\chi_{fd}$  (%) dan korelasinya menggunakan sampel sedimen sepanjang sungai Ponnaiyar sebanyak 40 titik pengambilan sampel. Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik berkisar dari 11,00 hingga  $260 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ . Nilai  $\chi_{fd}$  (%) yang didapatkan berkisar dari 0,12 hingga 8,56 %. Korelasi antara suseptibilitas magnetik dengan  $\chi_{fd}$  (%) berkorelasi positif. Nilai suseptibilitas tinggi berada pada tengah dan hilir sungai.

Kirana dkk., (2014) telah melakukan penelitian sifat magnetik sedimen sungai Citarum Karawang sebagai indikator pencemaran berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik. Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dilakukan pada frekuensi rendah  $\chi_{lf}$  (470Hz) dan frekuensi tinggi  $\chi_{hf}$  (4700Hz), dan perbedaan relatif nilai suseptibilitas  $\chi_{fd}$  (%). Hasil dari pengukuran menunjukkan daerah Walahar memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi dibandingkan dengan

daerah Jatiluhur, Curugklari, Tunggak Tati, Jayakarta, dan PDAM. Semua daerah kajian memiliki  $\chi_{fd}$  kurang dari 4%, dimana nilai suseptibilitas 1-4% sering ditemukan pada tanah yang terkontaminasi. Berdasarkan hal tersebut dapat diduga zat pencemar berasal dari sumber antropogenik (polusi industri).

Sungai Batang Arau merupakan salah satu sungai besar di Kota Padang yang berada di sepanjang aliran urban (kawasan pemukiman dan industri). Sungai ini menjadi sungai utama pada daerah aliran sungai (DAS) Batang Arau yang dimanfaatkan masyarakat untuk mandi, mencuci, serta pemanfaatan air sungai sebagai bahan baku air minum, untuk kegiatan pertanian, peternakan, dan industri (Pertiwi dan Martuani, 2018).

DAS Batang Arau mulai dari Lubuk Begalung hingga ke Muaro Padang (daerah tengah hingga hilir DAS Batang Arau) sudah tercemar akibat dari meningkatnya konsentrasi polutan dari berbagai kegiatan industri, lingkungan pemukiman, pasar, bengkel, perkapalan, dan berbagai kegiatan lainnya yang membuang limbah cair yang belum memenuhi baku mutu lingkungan. Hal ini menyebabkan muara sungai Batang Arau mengalami penurunan kualitas lingkungan, baik akibat pencemaran air maupun pengendapan (Putri, 2010).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, air sungai DAS Batang Arau mengandung logam berat Cu dengan rata-rata 0,034 mg/l pada pagi hari, dan 0,039 mg/l pada sore hari, dan mengandung logam berat Zn dengan rata-rata 0,055 mg/l pada pagi hari dan 0,062 mg/l pada sore hari. Sungai Batang Arau juga mengandung COD yang tinggi dan DO yang rendah. Hal tersebut dapat menunjukkan adanya indikasi pencemaran sungai karena sudah melebihi baku



mutu air sungai (Yanti dan Afdal, 2016 ; Putri, 2010 ; Erliza dkk., 2019). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengidentifikasi sebaran logam berat pada sedimen sungai Batang Arau Kota Padang.

## **1.2 Tujuan dan Manfaat**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pencemaran logam berat sedimen sungai Batang Arau Kota Padang berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik. Manfaat dari hasil penelitian ini di harapkan dapat diketahui tingkat pencemaran sedimen sungai akibat logam berat di lokasi penelitian dan berguna dalam memberikan informasi bagi pemerintah, masyarakat, dan industri lainnya, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menangani masalah bahayanya pencemaran yang terjadi akibat logam berat bagi makhluk hidup yang berada dekat dengan lokasi penelitian.

## **1.3 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah**

Pada penelitian ini sampel berupa sedimen Sungai Batang Arau Kota Padang sebanyak 20 titik pengambilan sampel mulai dari hulu hingga hilir, dan pinggir pantai sekitar DAS Batang Arau. Pencemaran logam berat ditentukan berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik yang diukur menggunakan alat Bartington MS2 dan MS2B.

## **BAB II LANDASAN TEORI**

### **2.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian**

Secara geografis, DAS Batang Arau terletak pada 0°48" sampai dengan 0°56"LS dan 100°21 sampai dengan 100°33 BT, dengan ketinggian 0 sampai dengan 1.210 m dari permukaan laut (dpl). Sumber air sungai Batang Arau berasal dari Sungai Lubuk Paraku, Sungai Padang Idas, dan Sungai Lubuk Sarik. Daerah tangkapan air DAS Batang Arau bagian hulu hanya sekitar 3.090 hektar (30,90 Km<sup>2</sup>), meliputi kawasan konservasi, hutan lindung dan lahan milik masyarakat. Bagian hulu dan tengah DAS yang termasuk wilayah Kota Padang meliputi Kecamatan Lubuk Kilangan, Bungus Teluk Kabung, Pauh, Kuranji, dan sebagian Lubuk Begalung. Sedangkan bagian hilir DAS Batang Arau meliputi kecamatan Lubuk Begalung, Padang Timur, Padang Selatan, Padang Barat, dan Padang Utara. Kecamatan-kecamatan pada daerah hilir merupakan daerah pemukiman penduduk terpadat di Kota Padang (Sabrina dkk., 2018).

Akhir-akhir ini daerah hulu terjadi pengurangan luas tutupan hutan karena adanya pembukaan lahan-lahan hutan untuk ladang (pertanian lahan kering) berpindah dan maraknya penebangan liar, pertambahan penduduk yang mencapai 2 sampai 3 kali lipat sehingga penduduk mulai membuka lahan hutan untuk pertanian, karena sebagian lahan pertanian produktif telah dijadikan pemukiman, perkantoran dan lahan usaha, industri dan jasa, serta bertambah luasnya kawasan tambang batu kapur yang digunakan sebagai dasar pembuatan semen oleh PT Semen Padang pada DAS Batang Arau (Sabrina dkk., 2018).

## 2.2 Sumber Limbah

Limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi baik industri maupun domestik (rumah tangga), yang telah dikenal sebagai sampah, yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu yang tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Ditinjau secara kimiawi limbah terdiri dari bahan senyawa organik dan anorganik dengan konsentrasi dan kuantitas tertentu (Widjajanti, 2009). Limbah dapat dikenali berdasarkan wujud dan karakteristiknya (Kristanto, 2004).

Limbah dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu :

1. Limbah padat adalah hasil buangan yang berupa padatan, lumpur, plastik, tekstil, potongan logam, kertas, kayu, karet, dan kaca yang tidak memiliki nilai ekonomis jika tidak didaur ulang.
2. Limbah cair adalah hasil buangan cairan yang berasal dari sisa proses pengolahan yang dapat mencemari lingkungan. Contoh limbah cair antara lain air sisa pembuangan pabrik, air sisa cucian, minyak, air sisa sabun dan lain-lain.
3. Limbah gas dan partikel adalah limbah yang banyak dibuang ke udara. Gas atau asap, partikulat, dan debu yang dikeluarkan oleh pabrik ke udara akan dibawa angin sehingga akan memperluas jangkauan pemaparnya dan dapat menurunkan kualitas udara. Partikel didalam limbah adalah partikel yang masih bisa dilihat dan dirasakan oleh manusia seperti asap, kabut, fume, uap air, dan debu.

Limbah memiliki dampak negatif jika tidak diolah kembali. Menurut Peraturan Pemerintah No.74 tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun, limbah B3 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat, konsentrasi, dan jumlahnya yang dapat merusak atau membahayakan lingkungan, kesehatan, dan kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Limbah B3 dapat berasal dari B3 kadaluarsa, B3 tumpah, B3 yang tidak memenuhi spesifikasi produk yang akan dibuang, bekas kemasan B3 dan limbah B3 dari sumber yang spesifik. Karakteristik limbah B3 adalah mudah meledak, mudah menyala, reaktif, infeksius, korosif dan/beracun (PP.No. 101, 2014).

Pada dasarnya limbah B3 menyebabkan polusi dan juga membahayakan sumber daya alam. Limbah B3 seperti oli pelumas bekas, majun, kaleng bekas cat atau thinner, dan aki bekas mempunyai kandungan dari *hydrocarbon* antara lain *toluene*, *ethylbenzene*, *xylene*s dan logam berat timbal. Oli pelumas bekas selain mengandung bahan kimia diantaranya *hydrocarbon* dan sulfur juga mengandung bahan kimia lainnya seperti sisa bahan bakar, tembaga, besi, aluminium, magnesium, dan nikel. Kaleng bekas cat semprot mengandung logam berat merkuri. Sedangkan limbah B3 seperti debu *blasting*, pasir *blasting*, kerak plasma, sisa *fiber glass* mempunyai kandungan logam berat seperti besi dan silika (Ichtiakhiri dan Sudarmaji, 2015).

Berdasarkan sumbernya, limbah dapat dibagi menjadi lima jenis, yaitu sebagai berikut (Zulkifli, 2014) :



1. Limbah domestik atau rumah tangga adalah limbah yang berasal dari kegiatan pemukiman penduduk atau rumah tangga dan kegiatan usaha pasar, restoran, gedung perkantoran dan sebagainya.
2. Limbah industri adalah merupakan sisa atau buangan dari hasil proses industri
3. Limbah pertanian adalah limbah yang berasal dari daerah atau kegiatan pertanian maupun perkebunan
4. Limbah pertambangan adalah limbah yang berasal dari kegiatan pertambangan bahan baku tertentu.
5. Limbah pariwisata adalah limbah yang berasal dari sarana transportasi yang membuang limbahnya
6. Limbah medis adalah limbah yang berasal dari dunia kesehatan, limbah medis mirip dengan limbah domestik pada umumnya.

### 2.3 Logam Berat

Logam berat adalah unsur kimia dengan bobot jenis besar dari  $5 \text{ gr/cm}^3$ , terletak di sudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur s dan biasanya bernomor atom 22-92 dari perioda 4 sampai 7 (Rangkuti, 2009). Logam berat merupakan kelompok logam berat yang non-esensial yang tidak memiliki fungsi sama sekali didalam tubuh dan sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan (*toxic*) pada manusia (Agustina, 2010).

Keberadaan logam berat pada sedimen dapat menjadi polutan apabila koseanrasinya melebihi ambang batas, namun logam berat juga dibutuhkan oleh

organisme untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya dalam jumlah yang sangat sedikit (Effendi, 2003). Logam berat juga banyak digunakan di bidang industri karena logam berat bersifat konduktor dan dapat membentuk alloy dengan campuran logam lainnya, serta sangat mudah untuk dibentuk dan ditempa (Palar, 2012).

Berikut adalah beberapa fungsi logam berat di bidang industri :

1. Timbal (Pb) banyak digunakan sebagai konstituen didalam cat, baterai, dan bensin (Sudarmaji, 2006). Penggunaan lainnya adalah untuk produk logam seperti pelapis kabel, pipa, solder, bahan kimia, dan pewarna (Fardiaz, 2005 ; Lu, 2006).
2. Kadmium (Cd) banyak digunakan untuk pelapisan logam, di samping itu daerah pertambangan seperti pertambangan seng (Zn), timbal (Pb), maupun tembaga (Cu) selalu mengandung kadmium sebagai bahan sampingan (Darmono, 1999).
3. Tembaga (Cu) dapat ditemukan didalam cairan pembersih lantai yang mengandung CuO (Yanthi dkk., 2013).
4. Seng (Zn) dalam bentuk oksida biasanya digunakan untuk industri komestik, plastik, karet, sabun, pigmen warna putih dalam cat, dan tinta, seng dalam bentuk sulfida digunakan sebagai pigmen fosfor serta untuk industri tabung televisi dan lampu pendar (Rahmadani dkk., 2015). Dan seng dalam bentuk klorida digunakan sebagai bahan deodoran, pengawetan kayu, stiptik, pelapis cat, bahan dinding lantai logam, dan insektisida dapur (Maslukah, 2006)

5. Mangan (Mn) digunakan sebagai campuran logam, batrai kering, indusri kimia, gelas, dan pewarna keramik (Hutagalung, 1984).
6. Besi (Fe) digunakan sebagai campuran membuat baja, besi tempa, besi tuang, bahan bangunan, peralatan logam-logam, rangka kendaraan, dll (Apriani, 2001).

Menurut Balachandran, dkk (2005) hal penting yang dilakukan adalah menentukan sumber logam berat dan mengelolanya sehingga kosentrasi logam tersebut ketika masuk kedalam sedimen tidak mencapai tingkat yang beracun. Sungai merupakan jalur utama transportasi logam berat (Harikumar dkk., 2009).

Sifat toksitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam tiga kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi, sedang, dan rendah. Logam berat yang bersifat toksik tinggi terdiri dari unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, sedangkan toksik rendah terdiri dari unsur Mn dan Fe (Miettinen, 1997).

Pencemaran logam berat terjadi karena adanya penggunaan logam berat tersebut didalam kegiatan manusia, sehingga menghasilkan limbah yang mencemari lingkungan. Logam berat yang masuk ke perairan disungai maupun dilautan dipindahkan dari badan airnya melalui tiga proses yaitu, pengendapan, adsorbsi, dan absorpsi oleh organisme-organisme perairan (Siaka, 2008 )

Menurut Sutamiharja dkk., (1982) logam berat memiliki sifat- sifat sebagai berikut :

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaanya secara alami sulit terurai (dihilangkan).

2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut.
3. Mudah terakumulasi disedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari pada konsentrasi di air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan massa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya didalam air sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu.

Tabel 2.1 Tingkat pencemaran berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik

No	Tingkat Pencemaran	Rentang Nilai Suseptibilitas	Kategori
1	Tingkat I	$<300 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$	Polusi tercemar rendah
2	Tingkat II	$300-600 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$	Polusi tercemar sedang
3	Tingkat III	$600-1000 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$	Polusi tercemar tinggi
4	Tingkat IV	$>1000 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$	Polusi tercemar sangat tinggi

(Sumber : Evan dan Heller, 2003)

## 2.4 Kemagnetan Batuan

Mineral magnetik sebenarnya selalu ada secara ilmiah pada batuan, tanah, atau endapan sedimen, meskipun secara kuantitatif kelimpahannya cukup kecil yaitu sekitar 0,1 % dari massa total batuan atau endapan (Bijaksana, 2002). Metoda sifat magnetik batuan (*rock magnetic method*) telah banyak digunakan dalam kajian tentang pencemar atau polutan lingkungan (Huliselan dkk., 2007). Sifat magnetik batuan tergantung pada mineral magnetik pembawa sifat magnetiknya, tergantung pada jumlah, bentuk, dan ukuran bulir magnetik (Zulaikah, 2015). Ukuran bulir berkaitan dengan domain magnetik, bulir magnetik yang kecil akan cenderung untuk memiliki satu domain atau *single domain*,



sebaliknya bulir yang lebih besar akan mempunyai domain yang banyak atau *multi* domain (Rongkunosa dkk., 2017)

Di tinjau dari sifat magnetiknya mineral umumnya di kelompokkan menjadi diamagnetik, paramagnetik, feromagnetik, ferimagnetik dan antiferomagnetik. Bahan diamagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik negatif dan sangat kecil. Bahan yang termasuk ke dalam kelompok diamagnetik diantaranya bismut, emas, air, karbondioksida, dan hidrogen. Pada bahan yang bersifat paramagnetik, suseptibilitas magnetiknya akan bernilai positif dan kecil. Bahan yang termasuk ke dalam kelompok paramagnetik diantaranya adalah oksigen, sodium, aluminium, dan gadolinium. Untuk bahan feromagnetik, merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik positif dan besar. Bahan yang termasuk feromagnetik diantaranya adalah besi, baja, dan besi silikon. Bahan ferimagnetik dan antiferomagnetik merupakan bahan yang memiliki suseptibilitas yang positif dan memiliki magnetisasi permanen bahkan tanpa medan magnet luar. Bahan yang termasuk ke dalam kelompok ferimagnetik diantaranya adalah ferit, seng dan nikel. Untuk bahan yang termasuk ke dalam antiferomagnetik diantaranya adalah  $MnO_2$ ,  $MnO$  dan  $FeO$ .

## **2.5 Anisotropy of Magnetic Susceptibility (AMS)**

### **2.5.1 Suseptibilitas Magnetik**

Suseptibilitas magnetik adalah sebuah besaran yang menyatakan kerentanan sebuah material terhadap medan magnetik luar (**H**) (Martha, 2017). Jika intensitas medan magnet luar **H** diberikan pada suatu bahan, maka bahan tersebut akan memberikan respon yang disebut dengan magnetisasi **M**

(Rongkunosa dkk., 2017). Besar magnetisasi yang terjadi pada material merupakan total momen magnetik (**m**) persatuan volum (**V**), ditunjukkan oleh Persamaan 2.1.

$$\mathbf{M} = \frac{\mathbf{m}}{v} \quad (2.1)$$

Hubungan antara magnetisasi dan medan magnet luar dinyatakan oleh Persamaan 2.2 :

$$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H} \quad (2.2)$$

dimana **M** adalah momen magnetik per satuan volume (A/m), **H** adalah intensitas medan magnetik,  $\chi$  adalah faktor pembanding yang dikenal dengan suseptibilitas magnetik.

Magnetisasi yang dimiliki oleh bahan karena disebabkan medan magnet luar yang mempengaruhinya disebut magnetisasi induksi. Besarnya medan magnetisasi induksi magnetik material dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0 (1 + \chi) \mathbf{H} = \mu_0 \mu \mathbf{H} \quad (2.3)$$

dengan  $\mu_0$  adalah permeabilitas magnet ruang hampa dan  $(1 + \chi) = \mu$  adalah permeabilitas magnet relatif.

### 2.5.2 Tensor suseptibilitas

Suatu sampel dikatakan anisotropi secara magnetik jika sifat-sifat magnetiknya bergantung pada arah pengukuran (Martha, 2017). Sebaliknya Jika sifat-sifat magnetiknya sama pada semua arah pengukuran, maka sampel tersebut dikatakan isotropi secara magnetik (Bijaksana, 2004). Nilai suseptibilitas magnetik suatu bahan yang anisotropi akan berbeda-beda sesuai dengan arah medan dimana bahan tersebut diukur (Suandayani, 2017).

Untuk bahan isotropi,  $\chi$  berupa besaran skalar biasa, namun untuk bahan anisotropi magnetisasi ( $\mathbf{M}$ ) tidak selalu searah dengan medan magnetiknya ( $\mathbf{H}$ ), maka suseptibilitas magnetik  $\chi$  harus dinyatakan sebagai sebuah tensor rank-2.

Hubungan antara komponen medan magnet luar  $\mathbf{H}$  ( $H_1, H_2, H_3$ ), magnetisasi  $\mathbf{M}$  ( $M_1, M_2, M_3$ ), dan suseptibilitas  $\chi$  jika dinyatakan dalam persamaan matriks akan menjadi Persamaan 2.4

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \chi_{11} & \chi_{12} & \chi_{13} \\ \chi_{21} & \chi_{22} & \chi_{23} \\ \chi_{31} & \chi_{32} & \chi_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

dengan  $\chi_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) adalah konstanta yaitu komponen-komponen tensor suseptibilitas.

Tensor suseptibilitas merupakan tensor simetrik, maka berlaku Persamaan 2.5

$$\chi_{ij} = \chi_{ji} \quad (2.5)$$

Oleh karena itu terdapat enam komponen bebas. Untuk enam komponen tensor suseptibilitas tersebut diperoleh dari posisi sampel yang akan ditentukan pada saat pengukuran.

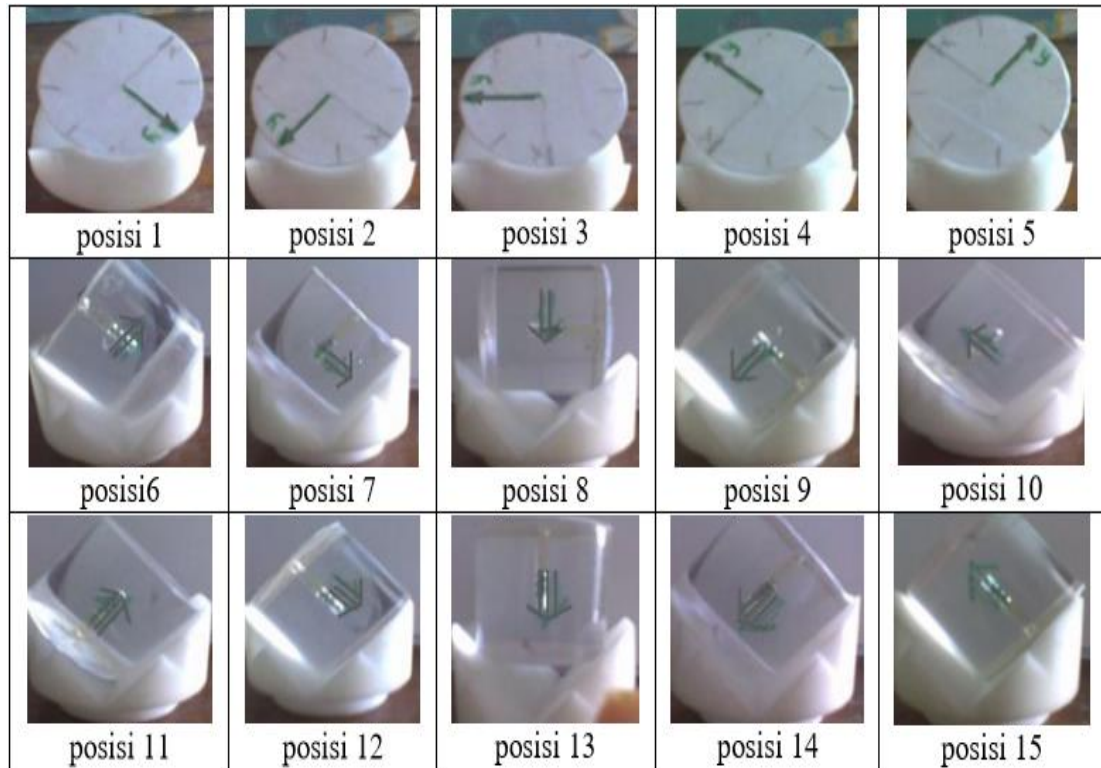
Metode kuadrat terkecil digunakan untuk melakukan perhitungan tersebut. Hubungan nilai-nilai suseptibilitas yang diperoleh untuk  $n$  arah pengukuran ( $A_n$ ) dengan komponen tensor suseptibilitas  $\chi_{ij}$  dapat ditulis dalam bentuk Persamaan 2.6 (Girdler, 1961).

$$A_n = \sum l_{ij} \chi_{ij}; \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (2.6)$$

atau bisa diubah menjadi Persamaan 2.7

$$A_n = l_1^2 \chi_{11} + l_2^2 \chi_{22} + l_3^2 \chi_{33} + 2l_1 l_2 \chi_{12} + 2l_2 l_3 \chi_{23} + 2l_1 l_3 \chi_{13} \quad (2.7)$$

dengan  $l_i$  dan  $l_j$  adalah cosinus arah terhadap sumbu ke-i dan sumbu ke-j



Gambar 2.1 Implementasi pola putar pengukuran 15 arah  
(Sumber : subekti, 2010)

Dalam bentuk matriks hubungan Persamaan 2.7 dapat ditulis seperti  
Persamaan 2.8

$$A = \theta K \quad (2.8)$$

dengan  $A$  merupakan matriks  $15 \times 1$ ,  $\chi$  merupakan matriks  $6 \times 1$ ,  $\theta$  merupakan matriks  $15 \times 6$  seperti yang ditunjukkan Persamaan 2.9

$$\boldsymbol{\theta} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & -2 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

dengan menggunakan sifat matriks, matriks tensor suseptibilitas

$$\mathbf{K} = (\boldsymbol{\theta}^T \boldsymbol{\theta})^{-1} \boldsymbol{\theta}^T \mathbf{A} \quad (2.10)$$

Nilai suseptibilitas magnetik merupakan nilai rata-rata dari swanilai matrik  $\chi$ . Karena matriks  $\chi$  berorde 3x3, maka terdapat tiga swanilai matriks, misalnya  $\chi_1$ ,  $\chi_2$ , dan  $\chi_3$ . Dari swanilai suseptibilitas tersebut bisa didapatkan nilai suseptibilitas sampel pada Persamaan 2.1

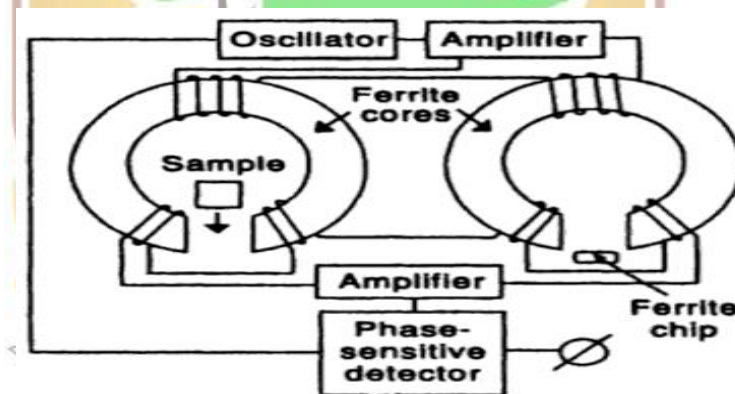
$$\chi_m = \frac{\chi_1 + \chi_2 + \chi_3}{3} \quad (2.11)$$

## 2.6 Magnetic Susceptibility Meter

*Magnetic susceptibility meter* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai suseptibilitas magnetik dari suatu bahan. Suseptibilitas magnetik merupakan parameter yang menyebabkan timbulnya anomali magnetik dan karena sifatnya yang khas untuk setiap jenis bahan, khususnya logam (Martha, 2017). Nilai suseptibilitas magnetik suatu bahan pun dapat ditentukan baik pada sampel di laboratorium atau permukaan singkapan batuan.



Penentuan harga suseptibilitas magnetik secara eksperimen dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut *Susceptibility Meter*. Jenis *magnetic susceptibility meter* yang biasa digunakan adalah jenis *Bartington MS2 Magnetic susceptibility meter* meliputi sebuah MS2 meter dan berbagai macam sensor. MS2 meter menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik dan bahan ketika berada dalam pengaruh sensor tertentu. Masing-masing sensor dirancang untuk aplikasi dan jenis sampel tertentu. Sensor-sensor pada *Bartington MS2 magnetic susceptibility meter* dioperasikan berdasarkan prinsip induksi arus bolak balik. Nilai suseptibilitas magnetik sampel diperoleh dengan membandingkan frekuensi osilator sebelum dan sesudah sampel diletakkan. Informasi perubahan frekuensi ini diubah menjadi nilai suseptibilitas magnetik (Tauxe, 1998).



Gambar 2.2 Penempatan sampel pada rangkaian osilator *susceptibility meter*

(Sumber : Tarling dan Hrouda, 1993)

## 2.7 Hubungan Logam Berat dengan Suseptibilitas Magnetik

Bahan yang memiliki bulir magnetik yang halus (bulir superparamagnetik) nilai suseptibilitasnya bergantung pada ferkuensi osilasi yang diberikan. Keberadaan bulir superparamagnetik tersebut dapat diketahui dari nilai koefisien

dependensi frekuensi (*frequency dependent susceptibility*),  $\chi_{fd}(\%)$ .  $\chi_{fd}(\%)$  merupakan perubahan suseptibilitas dengan frekuensi rendah  $\chi_{lf}$  dan frekuensi tinggi  $\chi_{hf}$  seperti yang ditunjukkan sesuai Persamaan 2.12.

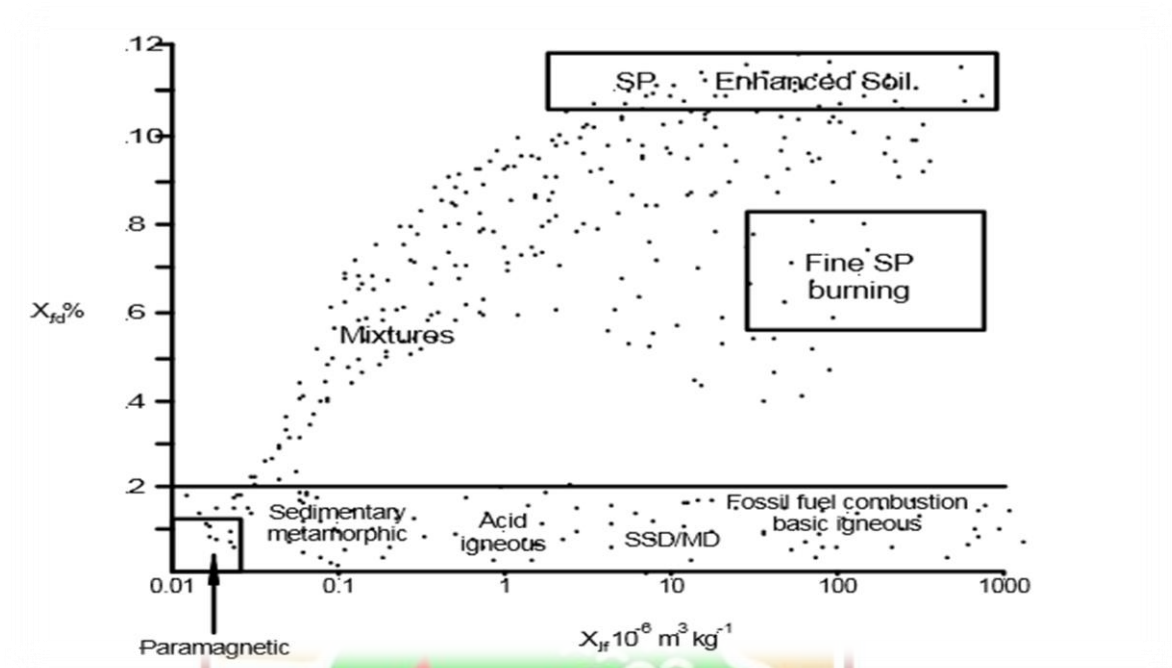
$$\chi_{fd} \% = \frac{|\chi_{lf} - \chi_{hf}|}{\chi_{lf}} \times 100 \quad (2.12)$$

Tabel 2.2 Interpretasi nilai  $\chi_{FD}(\%)$

Nilai $\chi_{fd}(\%)$	Keterangan
0,0 – 2,0	Tidak ada atau mengandung kurang dari 10% bulir superparamagnetik
2,0 – 10,0	Mengandung bulir superparamagnetik antara 10% sampai dengan 75% yang merupakan campuran antara bulir superparamagnetik yang berukuran halus dan kasar
10,0 – 14,0	Keseluruhan atau mengandung lebih dari 75% bulir superparamagnetik

(Sumber: Dearing, 1999)

Interpretasi nilai  $\chi_{fd}(\%)$  terhadap keberadaan bulir superparamagnetik dapat dilihat pada Tabel 2.2. Tabel tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai  $\chi_{fd}(\%)$ , maka semakin tinggi pula kandungan bulir superparamagnetiknya. Bulir tanah yang bersifat superparamagnetik ini disebut dengan bulir superparamagnetik. Partikel-partikel tanah yang berukuran halus mempunyai sifat superparamagnetik, semakin banyak kandungan bulir superparamagnetik pada tanah maka semakin banyak partikel tanah yang berukuran halus atau kecil, ukuran partikel yang halus mudah menyerap air, sedangkan hubungan antara nilai  $\chi_{fd}(\%)$  terhadap bulir magnetik dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 *Scattergram* domain magnetik

(Sumber : Dearing, 1999)

Pada umumnya logam berat kebanyakannya adalah mineral magnetik, mineral magnetik memiliki suseptibilitas yang tinggi. Salah satu contoh logam yang memiliki nilai suseptibilitas tinggi adalah Fe. Unsur Fe adalah salah satu unsur yang paling banyak dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang kuat, sehingga logam Fe banyak digunakan dalam pembuatan bahan baku baja, kabel, atau kawat baja, dan juga biasa digunakan untuk alat konstruksi. Namun Fe juga bisa mencemari lingkungan secara alamiah maupun non alamiah yang nantinya akan mengendap di dasar sungai menjadi sedimen, dan sedimen yang mengandung logam berat tersebut memiliki nilai suseptibilitas yang tinggi di bandingkan dengan sedimen yang tidak mengandung logam berat.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Juni sampai November 2020 di Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika Universitas Andalas Kota Padang. Lokasi pengambilan sampel adalah di Sungai Batang Arau dengan sampel penelitian adalah sedimen di sepanjang sungai Batang Arau dari hulu hingga hilir, termasuk sedimen di muara sungai dan pantainya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

##### 1. *Magnetic Suseptibility Meter*

Alat ini dilengkapi dengan sensor MS2B digunakan untuk mengukur nilai suseptibilitas magnetik sampel (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Bartington *magnetic susceptibility meter*

2. Komputer

Set komputer digunakan sebagai penampil dari hasil pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dari *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* dan untuk pengolahan data menggunakan program Matlab R2015a.

3. *Global Positioning System* (GPS)

GPS digunakan untuk menentukan posisi titik pengambilan sampel.

4. Neraca Digital

Neraca digunakan untuk mengukur massa sampel.

5. Ayakan 100 mesh

Ayakan 100 mesh digunakan untuk mendapatkan ukuran sampel lolos ayakan sesuai dengan yang diinginkan.

6. Lumpang dan alu

Digunakan untuk menghaluskan sampel.

### 3.2.2 Bahan Penelitian

1. Sedimen sungai Batang Arau

Bahan ini digunakan sebagai bahan sampel uji.



2. Pipa *Polyvinyl Chloride*(PVC)

Pipa PVC digunakan untuk mengambil sampel tanah lapisan atas.

3. Plastik *ziplock*

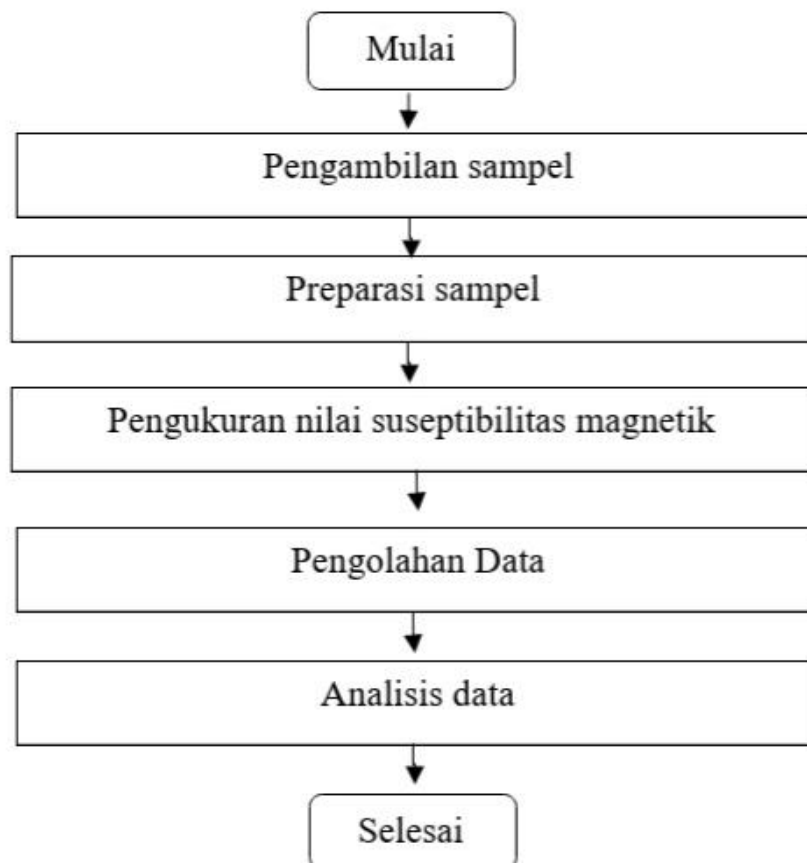
Plastik *ziplock* digunakan sebagai wadah untuk menyimpan sampel.

4. Aquades

Aquades berfungsi untuk membersihkan alat-alat penelitian.

### 3.3 Teknik Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dengan beberapa tahapan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

### 3.3.1 Pengambilan Sampel

Sampel diambil pada 20 titik yang menyebar mulai dari bagian hulu, tengah, hilir, muara sungai, dan pantai seperti Gambar 3.1. Pada setiap titik, diambil sampel sedimen pada 3 tempat sebanyak 30 gr. Sampel diambil pada kedalaman 10 cm menggunakan pipa pvc, kemudian dimasukkan kedalam plastik *ziplock* yang sudah diberi label. Seluruh sampel dibawa ke Laboratorium Fisika Bumi untuk pengukuran.

### 3.3.2 Preparasi Sampel

Sampel yang telah diambil kemudian dibawa ke laboratorium. Kemudian dikeringkan pada suhu ruang dalam waktu 7 hari. Pengeringan sampel dilakukan agar air yang terkandung pada sampel sedimen tidak mempengaruhi nilai pengukuran. Sampel yang telah kering kemudian digerus menggunakan lumpang dan alu hingga halus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh agar bagian yang tidak diinginkan terpisah sesuai dengan ukurannya. Selanjutnya sampel siap untuk diukur nilai suseptibilitas magnetiknya.

### 3.3.3 Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik

Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik menggunakan Bartington MS2 dengan sensor MS2B. *Sample holder* kosong ditimbang menggunakan neraca digital. Sampel yang telah diayak kemudian dimasukkan ke dalam *sample holder* yang telah disiapkan sebanyak 10 gram. Kemudian diukur massa *sample holder* yang telah diisi sampel tanah. Selanjutnya, dilakukan pengukuran nilai

suseptibilitas magnetik menggunakan Bartington *magnetic susceptibility meter*. Pengukuran ini menggunakan 15 arah pengukuran sesuai dengan yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1. Pengukuran dilakukan pada frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Nilai suseptibilitas magnetik yang diukur dapat dilihat pada Lampiran 1-4.

### 3.3.4 Pengolahan Data

Data yang didapatkan dari hasil pengukuran 15 arah diolah menggunakan program Matlab R2015a untuk mendapatkan data komponen tensor suseptibilitas magnetik. Data komponen tensor suseptibilitas magnetik yang didapatkan sebanyak 6 data diolah kembali menggunakan program Matlab R2015a untuk mendapatkan swanilai suseptibilitas magnetik. Data hasil swanilai suseptibilitas magnetik digunakan untuk mendapatkan nilai suseptibilitas magnetik. Proses pengolahan data mencakup menghitung nilai rata-rata, nilai maximum, dan nilai minimum dari suseptibilitas magnetik. Selanjutnya dibuat grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik terhadap posisi dan scattergram suseptibilitas magnetik pada frekuensi rendah terhadap suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi.

Nilai suseptibilitas sampel didapatkan berupa nilai suseptibilitas frekuensi rendah ( $\chi_{lf}$ ) dan nilai frekuensi tinggi ( $\chi_{hf}$ ). Kemudian nilai suseptibilitas bergantung frekuensi ( $\chi_{fd}$ ) dihitung menggunakan Persamaan 2.12. Nilai  $\chi_{fd}$  (%) digunakan untuk menentukan seberapa besar pengaruh bulir SP(*Superparamagnetic*) pada sampel dan digunakan untuk mengetahui sumber mineral magnetik berasal dari pedogenik, litogenik, atau antropogenik.

Kemudian dilakukan analisis pengaruh posisi terhadap nilai suseptibilitas magnetik, tingkat pencemaran logam berat berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik, dan sumber pencemaran sedimen sungai berdasarkan scattergram.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Perhitungan Nilai Suseptibilitas Magnetik Sampel

Posisi geografis titik pengambilan sampel serta hasil pengolahan data  $\chi_{lf}$ ,  $\chi_{hf}$ , dan  $\chi_{fd}$  sampel dapat dilihat pada Tabel 4.1. Hasil pengukuran, perhitungan komponen tensor, dan swanilai suseptibilitas magnetik sampel dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4.1 Hasil pengolahan data  $\chi_{lf}$ ,  $\chi_{hf}$ , dan  $\chi_{fd}$

No	Kode Sampel	Keterangan Titik Sampel	Kawasan	$\chi_{lf}$ ( $\times 10^{-8}$ m <sup>3</sup> /kg)	$\chi_{hf}$ ( $\times 10^{-8}$ m <sup>3</sup> /kg)	$\chi_{fd}$ (%)
1	P1	Hulu	Pemukiman non-padat penduduk	504,4	501,9	0,5
2	P2			160,1	156,5	2,3
3	P3		Sedikit padat penduduk	458,3	455,2	0,7
4	P4			606,0	594,2	1,9
5	P5	Tengah	Pemukiman non-padat penduduk	290,6	285,2	1,9
6	P6		Pabrik karet	291,4	284,6	2,3
7	P7		Tempat cucian kendaraan	116,6	112,8	3,2
8	P8		Sedikit padat penduduk	295,3	283,4	4,0
9	P9		Perbengkelan	459,0	432,9	5,7
10	P10		Pembuangan sampah warga	240,2	232,5	3,2
11	P11		Pemukiman non-padat penduduk	234,4	230,2	1,8
12	P12		Pemukiman padat penduduk	914,0	908,6	0,6
13	P13			787,7	783,4	0,5
14	P14			714,3	712,1	0,3
15	P15			506,1	503,1	0,6
16	P16	Hilir	Sandaran perkapalan	400,2	392,9	1,8
17	P17	Muara		520,8	518,4	0,5

18	P18	Pantai	Pantai	806,2	803,7	0,3
19	P19			652,7	637,2	2,4
20	P20			400,9	379,4	5,4
Nilai Rata-rata				467,9	460,4	1,9
Nilai Maximum				914,0	908,6	5,4
Nilai Minimum				116,6	112,8	0,3

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat hasil pengukuran nilai suseptibilitas magnetik

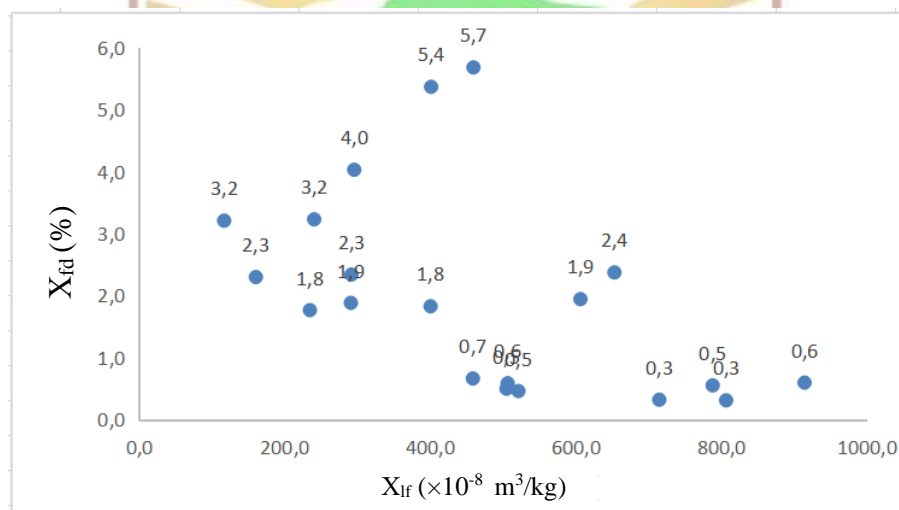
sedimen pada frekuensi rendah ( $\chi_{lf}$ ) berkisar antara  $116,6 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$  sampai  $914,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$  dan nilai suseptibilitas magnetik sedimen pada frekuensi tinggi ( $\chi_{hf}$ ) berkisar antara  $112,8 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$  sampai  $908,6 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ . Semua sampel memiliki nilai  $\chi_{lf}$  lebih besar dari nilai  $\chi_{hf}$ . Nilai  $\chi_{hf}$  yang kecil karena pengukuran pada frekuensi tinggi untuk menentukan nilai suseptibilitas magnetiknya dipengaruhi oleh momen-momen dipol mineral magnetik yang ada di dalam sampel. Sampel yang mengandung mineral SP akan menunjukkan nilai  $\chi_{hf}$  yang lebih rendah dibandingkan dengan  $\chi_{lf}$ , dan begitu sebaliknya. Apabila sampel mengandung mineral SP maka nilai  $\chi_{hf}$  dan  $\chi_{lf}$  akan sebanding (Dearing, 1999). Hal ini terjadi karena perubahan medan magnetiknya sangat cepat dan bulir SP tidak bisa mengikuti perubahan medan bolak-balik, dan juga dapat dikatakan waktu relaksasi bulir sp lebih lama dan butuh waktu cepat untuk mengikuti perubahan medan bolak-balik dari frekuensi tinggi  $\chi_{hf}$  (Thomas dan Oldfidd, 1986 dalam Solomen dkk., 2017).

#### 4.2 Hubungan nilai $\chi_{LF} (\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg})$ terhadap $\chi_{FD} (\%)$

Hubungan antara nilai suseptibilitas magnetik frekuensi rendah  $\chi_{lf} (\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg})$  sampel terhadap (%) pada lokasi penelitian dapat dilihat pada scattergram



Gambar 4.1. Scattergram hubungan nilai  $\chi_{lf} (\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg})$  dengan  $\chi_{fd} (\%)$  menunjukkan tipikal posisi sampel untuk berbagai domain dan sumber. Dengan menggunakan plot  $\chi_{lf}$  vs  $\chi_{fd}$  sampel area yang terpolusi dengan area yang tidak terpolusi akan membentuk pola tertentu pada plot tersebut. Untuk sampel alamiah, nilai  $\chi_{fd}$  semakin bertambah dengan tingginya nilai  $\chi_{lf}$ . Sedangkan untuk sampel terpolusi  $\chi_{fd}$  semakin menurun dengan tingginya nilai  $\chi_{lf}$ . Hal ini disebabkan oleh kandungan mineral magnetik yang terdapat dalam sampel (Hulliselan, 2015).



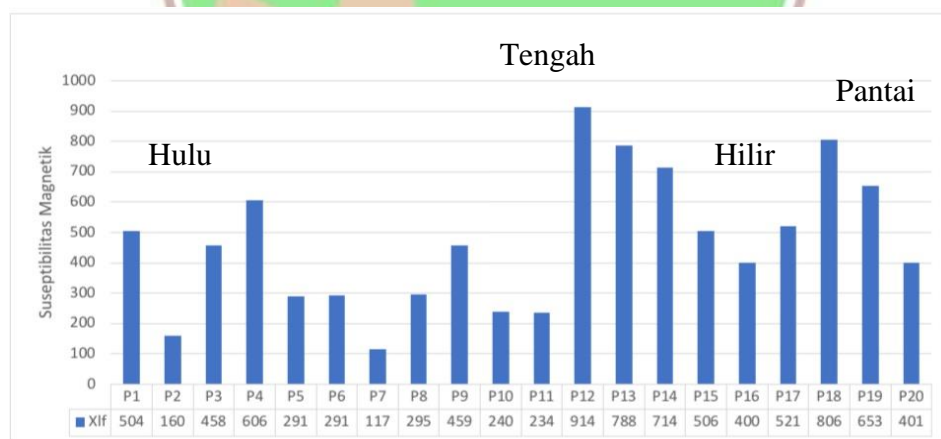
Gambar 4.1 Scattergram hubungan antara nilai  $\chi_{lf} (\times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg})$  terhadap  $\chi_{fd} (\%)$

Di sepanjang aliran Sungai Batang Arau untuk tiap titik pengambilan sampel pada Gambar 4.1 hampir seluruh sampel menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik  $\chi_{lf}$  dengan suseptibilitas bergantung frekuensi  $\chi_{fd}$  yang berbanding terbalik dan membentuk pola terpolusi pada scattergram dengan nilai  $\chi_{fd} (\%)$  sampel yang didapatkan berada di bawah 5%. Nilai  $\chi_{lf}$  dan  $\chi_{fd}$  yang berbanding

terbalik menunjukkan adanya pencemaran (Kanu, 2013) dan nilai  $\chi_{fd}$  (%) yang berada di rentang 1-4%, sering ditemukan pada sedimen yang terkontaminasi (Kirana dkk., 2014).

#### 4.3 Analisis posisi sampel dari hulu ke hilir terhadap nilai $\chi_{LF}$

Selanjutnya hubungan antara posisi sampel dari hulu ke hilir terhadap nilai suseptibilitas magnetik ( $\chi_{lf}$ ). Pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai suseptibilitas magnetik sedimen sungai Batang Arau menunjukkan nilai yang bervariasi pada setiap titik sampel, yang mengindikasikan adanya perbedaan jumlah nilai mineral magnetik di dalam sedimen sungai. Peningkatan suseptibilitas magnetik yang signifikan disebabkan oleh volume aktivitas manusia di sekitar area tersebut dan dengan demikian meningkatkan polusi serta limbah (Kanu, 2013).



Gambar 4.2 Nilai  $\chi_{lf}$  sedimen sungai terhadap posisi dari hulu ke hilir

Nilai suseptibilitas magnetik rendah berada pada titik sampel P7 yaitu  $116,6 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ . Nilai suseptibilitas magnetik sedimen rendah juga berada pada titik sampel P2 yaitu  $160,1 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ . Hal ini membuktikan bahwa kandungan

mineral magnetik pada dua titik sampel tersebut rendah, dimana sampel P2 dan P7 ini diambil pada daerah pemukiman tidak padat penduduk.

Nilai suseptibilitas magnetik tertinggi berada pada titik sampel P12 yaitu  $914 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$ . Suseptibilitas magnetik yang tinggi menunjukkan bahwa kandungan mineral magnetik pada titik P12 cukup tinggi. Sampel ini diambil pada daerah pemukiman padat penduduk. Nilai suseptibilitas magnetik pada sedimen Sungai Batang Arau pada bagian hulu relatif kecil dan semakin ke hilir semakin tinggi.

Nilai suseptibilitas magnetik pada sampel sedimen sungai Batang Arau ini relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan kajian pada sungai Citarum, yang mana berkisar dari  $14,4 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  sampai  $1741,7 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  (Kirana dkk., 2014) maupun dari sungai Ponnaiyar yang berkisar dari  $11,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  sampai  $260 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  (Ramasamy dkk., 2009). Hal ini disebabkan karena perbedaan geologi, proses pembentukan sedimen dan oleh input antropogenik material magnet (Thompson dan Oldfield, 1986 ; Dearing, 1996 dalam Kanu, 2013). Perbedaan nilai suseptibilitas pada daerah yang berbeda disebabkan oleh perbedaan jenis dan kuantitas aktivitas manusia di daerah tersebut (Kanu, 2013)

Sepanjang aliran sungai Batang Arau mulai dari hulu hingga hilir terdapat kegiatan pemukiman penduduk, industri pabrik karet, bengkel, dan kegiatan perkapalan. Sungai Batang Arau menjadi tempat pembuangan akhir limbah yang berasal dari kegiatan setempat. Limbah yang dibuang kesungai membawa mineral magnetik yang kemudian terendapkan dan mempengaruhi nilai suseptibilitas

magnetik di sedimen. Diduga limbah tersebut membentuk mineral magnetik yang dominan.

#### **4.4 Tingkat pencemaran berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik**

Terdapat 7 sampel yang memiliki suseptibilitas rendah dengan nilai suseptibilitas magnetik  $116,6 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  sampai  $291,4 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$ , yaitu sampel P2, P5, P6, P7, P8, P10, dan P11. Sampel tersebut termasuk ke dalam kategori tercemar rendah (Tingkat I). Karena nilai suseptibilitas magnetiknya kurang dari  $300 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  (Evan dan Heller, 2003). Dimana posisi titik sampel tersebut berada di lokasi yang tidak padat penduduk, dan jauh dari sumber pencemar.

Selanjutnya, 7 titik sampel yang memiliki suseptibilitas magnetik dengan nilai suseptibilitas magnetik dari  $400,2 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  sampai  $520,8 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$ , yaitu titik sampel P1, P3, P9, P15, P16, P17, dan P20. Sampel tersebut termasuk ke dalam kategori tercemar sedang (Tingkat II). Dengan nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan berada pada rentang  $300-600 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  (Evan dan Heller, 2003). Posisi titik sampel ini berada di lokasi yang cukup padat penduduk namun banyak aktivitas yang dilakukan, seperti aktivitas rumah tangga dan perkapalan.

Dan sisa titik sampel lainnya memiliki nilai suseptibilitas magnetik dari  $600,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  sampai  $914,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$ , yaitu titik sampel P4, P12, P13, P14, P18, dan P19. Sampel tersebut termasuk ke dalam kategori tercemar tinggi (Tingkat III). Dengan nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan berada pada rentang  $600-1000 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1}\text{m}^3$  (Evan dan Heller, 2003). Dimana titik sampel

tersebut berada di lokasi padat penduduk, sehingga menyebabkan banyak limbah yang dibuang ke sungai.

#### **4.5 Sumber pencemaraa sedimen sungai Batang Arau berdasarkan scattergram**

Terdapat 12 sampel yang memiliki nilai  $\chi_{fd}$  (%) di bawah 2,00% dan sisanya memiliki nilai  $\chi_{fd}$  (%) di atas 2,00%. Sebanyak 12 sampel memiliki rentang nilai  $\chi_{fd}$  (%) antara 0,0-2,0% atau mengandung kurang dari 10% bulir superparamagnetik. Sedangkan 8 sampel lainnya memiliki nilai rentang  $\chi_{fd}$  (%) antara 2,0-10% dan diperkirakan mengandung bulir superparamagnetik antara 10% sampai dengan 75% yang merupakan campuran antara bulir superparamagnetik yang berukuran halus dan kasar. Sampel yang memiliki nilai  $\chi_{lf}$  yang tinggi dengan nilai  $\chi_{fd}$  yang rendah bahkan mendekati nol menunjukkan sampel didominasi oleh mineral ferrimagnet non-SP dengan ukuran bulir yang relatif besar (Dearing, 1999). Pada 12 sampel ini kumpulan bulir magnetiknya di dominasi oleh bulir non-SP yang terdiri dari bulir single domain (SD) dan multi domain (MD) dan 8 sisa sampel termasuk ke dalam campuran butiran kasar. Sampel yang lebih didominasi oleh mineral-mineral magnetik yang berukuran besar seperti multi domain (MD) banyak dihasilkan dari proses-proses pencemaran (Luo dkk., 2000). Dapat dikatakan nilai suseptibilitas magnetik sampel yang tinggi dan nilai  $\chi_{fd}$  (%) yang rendah sumber pencemarnya adalah limbah domestik.



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

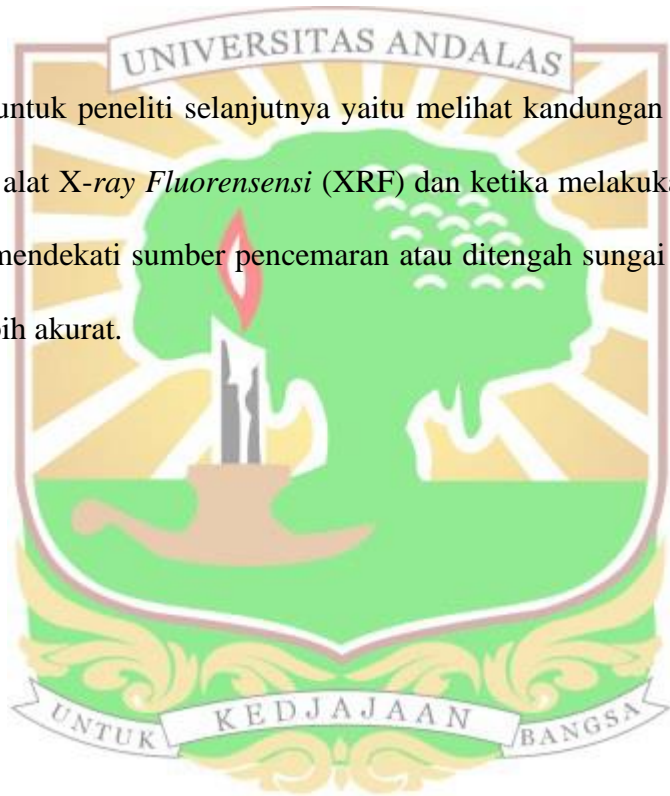
1. Hasil dari pengukuran untuk nilai keseluruhan sampel  $\chi_{lf}$  diperoleh berkisar antara  $116,6 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$  dan  $914,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ .
2. Hampir seluruh sampel memiliki nilai  $\chi_{fd} (\%) < 5\%$ . Sampel yang memiliki nilai  $\chi_{fd} (\%)$  dibawah 2% lebih didominasi oleh mineral-mineral magnetik berukuran besar seperti multi domain (MD) yang banyak dihasilkan dari proses-proses pencemaran.
3. Nilai suseptibilitas terendah berada pada titik P7 yaitu  $116,6 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ , nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan rendah karena titik P7 berada di kawasan tidak padat penduduk. Nilai suseptibilitas tertinggi berada pada titik P12 yaitu  $914,0 \times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$ , nilai suseptibilitas pada titik P12 tinggi karena titik sampel ini berada pada di kawasan perumahan padat penduduk..
4. Berdasarkan nilai suseptibilitas tingkat pencemaran di sedimen Sungai Batang Arau terdapat 7 sampel yang termasuk kedalam kategori tercemar rendah, 7 sampel termasuk kedalam kategori tercemar sedang ,dan 6 sampel lainnya termasuk kedalam kategori tercemar tinggi. Hal ini dikarenakan sebagian titik

sampel berada di pemukiman tidak padat penduduk sebagian nya lagi berada dipemukiman padat penduduk.

5. Hampir seluruh sampel memiliki nilai  $\chi_{fd} (\%) < 5\%$  dimana untuk nilai  $\chi_{fd} (\%)$  1-4% sering ditemukan pada sedimen yang terkontaminasi. Dapat dikatakan sumber dari pencemaran ini berasal dari sumber antropogenik (Limbah Domestik).

## 5.2 Saran

Saran untuk peneliti selanjutnya yaitu melihat kandungan mineral sampel menggunakan alat *X-ray Fluorensensi* (XRF) dan ketika melakukan pengambilan sampel lebih mendekati sumber pencemaran atau ditengah sungai agar hasil yang didapatkan lebih akurat.



## DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T., 2010, Kontaminasi Logam Berat Pada Makanan dan Dampaknya Pada Kesehatan, *Jurnal UNNES*, Semarang.
- Apriani, S., 2001, Analisa Kandungan Logam Berat Besi (Fe) dan Kromium (Cr) Pada Sumur Artesis dan Sumur Penduduk (Cincin) dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) di Kelurahan Rejo Sari Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru, *Skripsi*, Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
- Balachandran, K.K., Rajic, L.C.M., Nair, M, Joseph, T., Sheeba, P., dan Venugopal, P., 2005, Heavy Metal Accumulation In a Flow Restricted Tropical Estuary, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, No. 65, hal. 361-370.
- Bijaksana, S., 2002, Analisa Mineral Magnetik Dalam Masalah Lingkungan, *Journal Geofisika*, Vol. 1, hal. 19-27.
- Bijaksana, S., 2004, Ulasan Tentang Landasan Fisis Anisotropi Magnetik Pada Batuan, *Jurnal Geofisika*, Vol. 1, hal. 2-8.
- Darmono, 1999, Kadmium (Cd) Dalam Lingkungan dan Pengaruhnya Terhadap Kesehatan dan Produktivitas Ternak, Bogor, *WATARZOA*, Vol. 8, No. 1, hal. 28-32
- Dawud, M, Namara, I, Chayati, N, Li, F.M., 2016, Analisis Sistem Pengendalian Pencemaran Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Berbasis Masyarakat, Bogor, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Teknik Sipil Ibnu Khaidun.
- Dearing, J., 1999, *Environmental Magnetic Susceptibility Using the Bartington MS2 System*, Chi Publishing, England.
- Effendi, H., 2003, *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*, Kansius, Yogyakarta.
- Endrinaldi, 2009, Logam-logam Berat Pencemar Lingkungan dan Efek Terhadap Manusia, Padang, *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol.4, No.1, hal. 42-46.
- Erliza, A., Hasriani, Z., Setiawan, R., Mulbes, P. B., Yani, R., Amalia, A.P., dan Putra, A. P., 2019, Identifikasi Pencemaran Air Di Sepanjang Aliran

Sungai Utama DAS Batang Arau Kota Padang, Padang, *Jurnal Kapita Selekta Geografi*, Vol. 2, No. 5, hal. 29-34.

Evans, M.E., dan Heller, F., 2003, *Environment Magnetism Principles and Application of Environmagnetics*. Academic Press, Californi.

Fardiaz, S., 2005, *Polusi Air dan Udara*, Kanisius, Yogyakarta.

Girdler, R.W., 1961, Some Preliminary Measurements of Anisotropy of Magnetic Susceptibility of Rocks, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 5, No. 3, hal. 197-206.

Govedarica, D.D., Gavrilov, M.B., Zeremski, T.M., Govedarica, O.M., Hambach, U., Tomic, N.A., Sentic, I. dan Markovic, S.B., 2019, Relationships between heavy metal content and magnetic susceptibility in road loess profile : A possible way to detect pollution, Serbia, *Quaternary Interntional*, 2019, Vol. 5, No. 2, hal. 148-159.

Harikumar, P.S., Nasir, U.P., Rahman ,M.P., 2009, Distribution of Heavy Metal In The Cone Sediment Of a Tropical Wetland System, *Ins.J.Environ. Sci. Tech.*, Vol. 6, No. 2, hal. 225-235.

Huliselan, E.K., dan Bijaksana, S., 2007, Identifikasi Mineral Magnetik Pada Lindi (*Leachate*), *Jurnal Geofisika*, Vol. 2, hal. 8-13.

Hutagalung, H, 1991, *Pencemaran Laut Oleh Logam Berat*, Jakarta, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Hutagalung, P.H., 1984, Logam Berat Dalam Lingkungan Laut, Jakarta, *Oseana Journal*, Pusat Penelitian Ekologi, Lembaga Oseanologi National-LIPI, Vol. 9, No. 1, hal. 11-20.

Ichtiakhiri, T.H., dan Sudarmaji, 2015, Pengelolaan Limbah B3 dan Keluhan Pekerja di PT.Inka(Persero) Kota Madiun, Surabaya, *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, Vol. 8, No. 1, hal. 118-127.

Istarani, F. Dan Pandebesie, 2014, Studi Kasus Dampak Arsen (As) dan Kadmium (Cd) Terhadap Penurunan Kualitas Lingkungan, Surabaya, *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 3, No. 1, hal. 53-58.

Kanu, M.O., Meludu, O.C., Oniku, S.A., 2013, A Preliminary Assessment of Soil Pollution in Some Parts of Jalingo Metropolis, Nigeria Using Magnetic Susceptibility Method, Nigeria, *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, Vol. 5, No. 2, hal. 53-61.

Kirana, K. H., Fitriani, D., Supriyana, E., Agustine, E., 2014, Sifat Magnetik Sedimen Sungai Sebagai Indikator Pencemaran, Studi Kasus Sungai



Citarum Kab.Karawang Universitas Padjajaran, *Spektra Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 15, No. 2, hal. 99-101.

Kristanto, 2004, *Ekologi Industri*, Yogyakarta : Andi Offset.

Luo,W., Dongsheng, L., dan Houyuan, L.U., 2000, Magnetic Susceptibility Properties of Polluted Soils, Beijing, *Chinese Science Bulletin*, Vol. 45, No. 18, hal. 1723-1726

Lu, F. C., 2006, *Toksikologi Dasar : Asas. Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko*, (diterjemahkan oleh : Nugroho, E., Pendamping : Bustami, Z.S., Darmansyah, I.), Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.

Martha, Y., 2017, Analisis Suseptibilitas Magnetik dan Kandungan Logam Berat Pada Tanah Lapisan Atas di Sekitar Pabrik PT. Semen Padang, Padang, *Skripsi*, Jurusan Fisika, Universitas Andalas.

Maslukah, L., 2006, Konsentrasi Logam Berat Pb, Cd, Cu, dan Zn, dan Pola Sebarannya di Muara Banjir Kanal Barat, *Tesis*, Semarang, Institut Pertanian Bogor.

Miettinen, 1997, *The Acumulation and Excretion of Heavy Metal in Organism*, New York : Plenum Press.

Orosun, MM., Oniku, S.A., Peter. A., Orosun, R.O., Salawu, N.B., dan Hitler, L., 2020, Magnetic susceptibility measurement and heavy metal pollution at an automobile station in lorin, North-Central Nigeria, Nigeria, *Environmental Research Communications*, Vol. 2, hal. 1-9.

Palar, H., 2012, *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*, Rineka Cipta, Jakarta, hal. 152.

Pemerintah Republik Indonesia, 2001, *Peraturan Nomor 74 tahun 2001 Tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya dan Beracun*, Jakarta.

Pemerintah Republik Indonesia, 2014, *Peraturan Nomor 101 tahun 2014 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun*, Jakarta.

Pertiwi, A. dan Siregar, P.M., 2018, Analisis Kualitas Air Sungai Berdasarkan Aspek Meteorologi, *Studi kasus DAS Batang Arau Kota Padang*, Bandung, Institut Teknologi Bandung.

Putri, W. A. E., 2010, Pencemaran Bahan Organik Di Muara Sungai Batang Arau Padang Sumatera Barat, Indralaya, *Maspari Journal*, Vol. 1, hal. 30-34.

Ramasamy,V., Suresh, G., dan Venkatachalaphaty, R., 2009, Magnetic Susceptibility of the Ponnaiyar River Sediments Tamilnadu India,



Tamilnadu, *Global Journal of Environmental Research*, Vol. 2, No. 2, hal. 126-131.

Rangkuti, A.M., 2009, Analisis Kandungan Logam Berat Hg, Cd, dan Pb Pada Air dan Sedimen di Perairan Pulau Pagang-Pramuka Kepulauan Seribu, *Skripsi*, Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

Rahmadani. T., Sabang, S.M., dan Said, I., 2015, Analisis Kandungan Logam Zink(Zn) dan Timbal(Pb) dalam Air Laut Pesisir Pantai Mambore Kecamatan Palu Utara, *J.Akad.Kim*, Pendidikan Kimia, Universitas Tadulako, Palu, Vol. 4, No. 4, hal. 201.

Rongkunosa, M., Tamuntuan, G., dan Pasau, G., 2017, Analisis Anisotropi Suseptibilitas Magnetik Batuan Beku Lengan Utara Sulawesi, Manado, *Jurnal MIPA UNSRAT*, Jurusan Fisika, Unsrat, Vol. 6, No. 1, hal. 8-12.

Sabrina, T.U., Hidayat, T., Hartati, Umar, Z., 2018, Kajian Sedimentasi Pada Muara Sungai Batang Arau Kota Padang, Padang, *JIRS* Vol. 15, No. 1, hal. 37-44.

Siaka, I.M., 2008, Kolerasi Antara Kedalaman Sedimen di Pelabuhan Benoa dan Konsentrasi Logam Berat Pb dan Cu, *Jurnal Kimia*, Vol. 2, No. 2, hal.61-70.

Solomon, J.S., Ahmed, A.L., Adamu, I.H., Dimu, O.O., 2017, Identifiying Anthropogenic Metallic Pollutans Using Frequency Dependent Magnetic Susceptibility Measurment in Abuja Metropolis, *Current Trends in Natural Sciences*, Vol. 6, Issue 11, hal. 13-22.

Suandayani, N.K.T., 2017, Pengukuran Anisotropi Magnetik Endapan Sedimen Menggunakan Metode AMS(Anisotropy of Magnetic Susceptibility) and NRM (Natural Remanent Magnetization), Bukit Jimbaran, *Skripsi*, Jurusan Fisika, Universitas Udayana.

Subekti, 2010, Analisis Suseptibilitas Magnetik Pasir Besi, *Skripsi*, Jurusan Fisika, Universitas Surakarta, Surakarta.

Sudarmaji, Mukono, J., dan Corie, C. P., Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, Vol. 2, No. 2, hal. 129-142.

Sudarningsih, Lestiana, E., dan Wianto, T., 2013, Analisis Logam Berat Sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) Tabalog Kalimantan Selatan, *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, Lampung.

- Sutamihardja, R.T.M., Adnan, K., dan Sanusi, 1982, Perairan Teluk Jakarta Ditinjau Dari Tingkat Pencemarannya, Bogor, *Jurnal*, Institut Pertanian Bogor.
- Tarling, D.H. dan Hrouda, F., 1993, *The Magnetic Anisotropy of Rock*, Chapman & Hall, London, United Kingdom.
- Tauxe, L., 1998, *Paleomagnetic Principles and Practice*, Kleuwer Academic Publishers, London, United Kingdom.
- Widjajanti, E., 2009, Penanganan Limbah Laboratorium Kimia, Yogyakarta.
- Yanti, E. L., dan Afdal, 2016, Profil Pencemaran Air Sungai Batang Arau Daerah Lubuk Begalung Kota Padang, Padang, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 5, No. 2, hal. 101-106.
- Yanthy, K.I., Sahara, E., dan Dewi, K.S.P., 2013, Spesiasi dan Bioavalitas Logam Tembaga (Cu) Pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen di Kawasan Pantai Sanur, *Jurnal Kimia*, Vol. 7, No. 2, hal. 141-152.
- Zulaikah, S., 2015, Prospek dan Manfaat Kajian Kemagnetan Batuan Pada Perubahan Iklim dan Lingkungan, Malang, *Jurnal Fisika*, Jurusan Fisika, Universitas Malang, Vol. 5, No. 1, hal.2-6.
- Zulkifli, A., 2014, *Dasar-dasar Ilmu Lingkungan*, Salemba Teknik, Jakarta.



## LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil pengukuran  $\chi_{lf}$  sedimen Sungai Batang Arau

		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Pengukuran suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$A_1$	505,1	169,9	467,2	620,6	298,6	306,3	114,5	282,9	479,8
	$A_2$	507,4	167,6	464,0	618,0	298,5	307,5	112,5	265,4	451,0
	$A_3$	508,7	167,7	465,7	616,9	300,2	308,8	119,2	264,7	480,8
	$A_4$	508,4	168,8	464,6	625,1	300,7	305,1	126,3	255,0	463,3
	$A_5$	507,8	165,1	467,2	626,8	302,9	302,8	134,4	271,3	452,0
	$A_6$	508,4	165,5	467,3	627,2	304,3	302,5	135,9	263,1	449,3
	$A_7$	508,8	169,9	468,3	620,4	300,0	310,4	114,4	260,1	462,3
	$A_8$	491,5	147,0	427,1	653,1	263,4	261,4	93,6	181,8	392,1
	$A_9$	507,7	163,1	465,5	609,4	292,7	296,8	122,9	281,8	408,1
	$A_{10}$	509,7	156,4	468,0	606,2	292,9	300,2	105,6	271,1	388,0
	$A_{11}$	510,3	165,5	467,1	617,5	296,2	298,6	126,2	253,7	408,9
	$A_{12}$	507,7	169,2	470,7	621,9	300,9	309,3	115,7	276,5	568,5
	$A_{13}$	466,4	93,8	370,9	388,8	210,1	148,8	80,4	771,4	659,9
	$A_{14}$	509,9	165,3	470,3	623,5	304,7	308,3	134,5	261,0	454,0
	$A_{15}$	508,8	167,2	470,2	614,5	293,5	304,3	112,2	269,2	367,2
Komponen tensor Suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	514,0	178,3	480,8	641,4	313,1	327,8	128,8	223,2	463,1
	$\chi_2$	504,9	164,9	453,2	656,0	293,4	301,5	113,6	185,7	396,0
	$\chi_3$	494,4	137,3	434,9	520,6	256,4	244,9	107,2	476,9	518,0
	$\chi_4$	0,4	-1,5	-0,2	-0,2	0,5	-0,3	1,5	-0,3	-10,0
	$\chi_5$	0,6	-0,6	0,9	-2,5	-1,0	2,8	-9,7	-3,4	-1,8
	$\chi_6$	-0,9	1,4	0,9	-1,2	-1,6	1,7	-8,2	7,8	18,2
Swanilai suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	494,3	137,2	434,8	520,5	256,3	244,7	99,0	185,6	394,5
	$\chi_2$	504,9	164,7	459,2	641,4	293,4	301,6	117,8	223,0	458,9
	$\chi_3$	514,1	178,5	480,8	565,0	313,2	327,9	132,8	477,2	523,7
Nilai suseptibilitas	$\chi_m$	504,4	160,1	458,3	606,0	290,6	291,4	116,6	295,3	459,0

$\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$										
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

		P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Pengukuran suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$A_1$	265,3	242,8	924,0	797,2	717,8	509,4	403,1	523,9	812,5
	$A_2$	263,5	245,8	916,5	795,6	717,9	509,6	402,6	523,6	812,2
	$A_3$	252,8	248,2	917,6	799,0	721,1	508,8	403,3	524,4	811,6
	$A_4$	235,6	247,4	921,0	792,0	721,2	508,9	401,6	524,5	811,4
	$A_5$	250,9	249,8	918,4	792,9	720,2	510,6	402,9	524,7	810,4
	$A_6$	245,8	248,3	919,7	790,9	718,6	510,5	400,1	525,1	810,2
	$A_7$	263,1	248,5	921,1	798,2	719,8	509,9	403,8	524,8	812,6
	$A_8$	236,7	217,5	894,4	782,3	701,7	492,5	386,6	508,1	780,4
	$A_9$	242,7	233,1	919,3	787,9	718,0	508,2	405,8	519,7	813,2
	$A_{10}$	254,8	234,3	916,0	790,5	716,9	508,7	405,2	523,7	813,5
	$A_{11}$	245,7	235,5	916,9	784,7	717,6	509,7	403,2	525,1	812,4
	$A_{12}$	266,6	244,5	924,4	796,8	718,7	511,2	403,7	524,9	809,8
	$A_{13}$	87,1	134,8	860,5	725,8	667,4	471,0	378,3	490,9	763,4
	$A_{14}$	241,5	247,8	922,9	790,6	720,5	511,5	401,3	525,6	809,8
	$A_{15}$	251,6	237,0	917,0	791,3	717,5	510,8	401,5	523,4	809,2
Komponen tensor Suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	271,2	260,2	928,1	803,2	726,9	516,0	406,3	529,9	818,5
	$\chi_2$	263,4	244,7	915,2	795,9	717,0	506,1	399,3	520,3	804,9
	$\chi_3$	186,1	198,1	898,6	764,1	699,1	496,5	395,0	512,5	795,1
	$\chi_4$	3,4	1,4	-2,5	-0,2	-0,2	0,5	0,2	0,0	-0,3
	$\chi_5$	7,4	0,4	-0,5	2,5	0,0	0,0	0,8	0,9	0,7
	$\chi_6$	7,8	-0,5	0,4	3,2	-0,5	0,2	0,2	-0,6	-0,8
Swanilai suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	184,8	198,1	898,6	763,6	699,1	496,5	394,9	512,2	795,0
	$\chi_2$	262,4	244,6	914,8	796,1	717,0	506,0	399,4	520,4	805,0
	$\chi_3$	273,6	260,3	928,6	803,5	726,9	515,7	406,3	529,9	818,5
Nilai suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_m$	240,2	234,4	914,0	787,7	714,3	506,1	400,2	520,8	806,2

		P19	P20
Pengukuran suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$A_1$	625,5	438,0
	$A_2$	666,6	422,0
	$A_3$	660,5	387,3
	$A_4$	647,8	384,7
	$A_5$	629,3	386,0
	$A_6$	654,5	402,2
	$A_7$	672,1	432,6
	$A_8$	630,7	336,1
	$A_9$	617,8	369,0
	$A_{10}$	665,0	412,3
	$A_{11}$	676,3	375,4
	$A_{12}$	668,7	455,7
	$A_{13}$	651,9	355,3
	$A_{14}$	661,4	428,3
	$A_{15}$	662,6	428,7
Komponen tensor Suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	660,7	422,0
	$\chi_2$	630,9	378,4
	$\chi_3$	666,5	402,3
	$\chi_4$	5,7	-3,7
	$\chi_5$	16,2	18,4
	$\chi_6$	-1,6	20,2
Swanilai suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	623,7	365,2
	$\chi_2$	661,6	402,1
	$\chi_3$	672,8	435,5
Nilai suseptibilitas	$\chi_m$	652,7	400,9





$\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$			
--	--	--	--

**Lampiran 2 Hasil pengukuran  $\chi_{hf}$  sedimen Sungai Batang Arau**

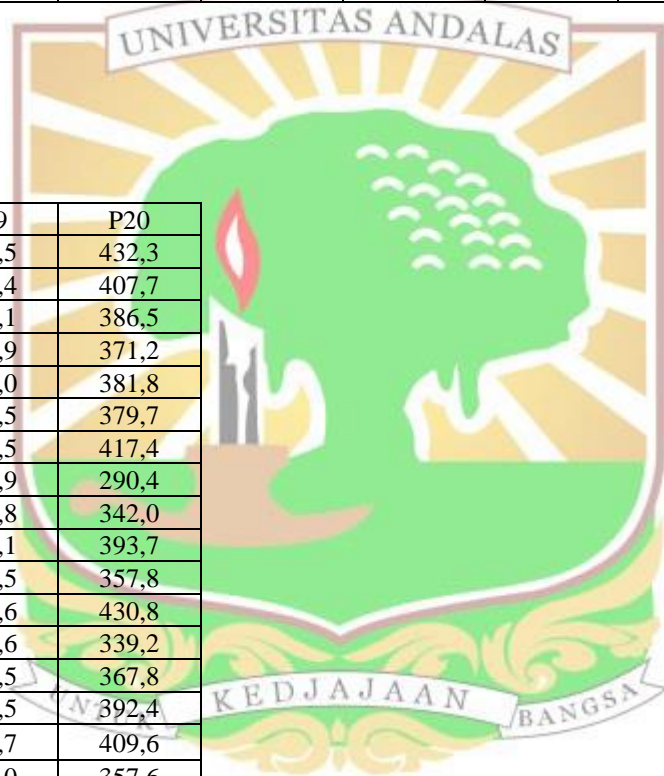
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Pengukuran suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$A_1$	504,7	167,9	460,7	619,1	294,4	303,0	112,7	277,8	474,6
	$A_2$	506,6	166,5	463,8	617,7	295,4	303,2	111,8	2664,8	450,0
	$A_3$	508,5	167,6	462,1	614,9	294,5	303,3	116,7	253,2	468,1
	$A_4$	507,1	168,4	464,2	617,6	297,0	300,3	123,6	251,2	459,3
	$A_5$	505,7	163,7	466,5	618,3	296,8	301,6	127,6	266,1	446,5
	$A_6$	507,2	162,8	466,0	623,5	298,8	296,4	132,5	259,3	443,3
	$A_7$	507,6	166,6	464,5	615,6	294,8	301,9	109,2	259,8	461,8
	$A_8$	487,3	142,0	422,6	547,5	261,5	248,3	80,3	151,0	342,5
	$A_9$	498,2	159,1	444,0	603,2	285,5	291,2	121,6	280,6	396,5
	$A_{10}$	502,1	153,0	464,9	602,0	287,7	295,8	105,6	260,0	334,8
	$A_{11}$	509,3	152,7	460,0	604,8	290,3	295,4	123,4	245,0	408,9
	$A_{12}$	505,3	167,9	466,0	612,6	294,2	296,8	110,2	275,4	477,4
	$A_{13}$	463,6	91,2	398,0	388,2	201,8	136,6	85,3	695,8	640,7
	$A_{14}$	507,8	163,0	462,4	621,1	298,3	297,9	124,9	247,4	454,0
	$A_{15}$	508,1	154,4	463,0	607,3	286,6	297,2	106,8	263,1	235,5
Komponen tensor Suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	515,0	175,2	474,8	645,7	307,7	323,6	124,4	224,3	436,2
	$\chi_2$	500,5	163,3	452,1	611,7	290,6	295,6	107,1	180,4	388,6
	$\chi_3$	490,3	130,8	438,8	525,3	257,2	234,6	107,0	445,5	474,0
	$\chi_4$	0,1	-1,5	1,4	-0,2	0,2	0,4	0,8	0,5	-9,4
	$\chi_5$	1,1	-0,6	4,9	-2,3	-0,5	2,5	-9,8	-5,0	-10,8
	$\chi_6$	-0,9	1,7	1,7	-1,5	-2,0	0,2	-7,8	11,5	-37,5

Swanilai suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	490,1	130,7	437,2	525,2	257,1	234,5	96,3	180,2	382,4
	$\chi_2$	500,7	163,1	453,5	611,7	290,6	295,7	113,8	223,7	419,1
	$\chi_3$	515,0	175,5	475,0	645,8	307,8	323,6	128,4	446,2	497,3
Nilai suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_m$	501,9	156,5	455,2	594,2	285,2	284,6	112,8	238,4	432,9

		P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
Pengukuran suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$A_1$	259,2	240,7	921,5	794,9	716,2	508,4	397,9	523,4	807,2
	$A_2$	260,8	245,4	916,2	791,6	716,7	508,8	400,0	523,3	806,9
	$A_3$	245,1	247,3	912,8	791,3	719,6	507,9	399,4	522,7	811,1
	$A_4$	228,2	244,2	919,0	788,3	719,9	507,5	398,0	523,0	809,4
	$A_5$	243,5	247,5	916,1	787,4	717,2	508,6	395,8	521,5	809,2
	$A_6$	242,2	244,5	919,1	785,9	717,3	508,5	395,9	523,7	808,5
	$A_7$	256,7	246,3	917,1	792,2	717,6	508,3	399,5	522,9	810,9
	$A_8$	216,3	203,5	857,0	776,2	699,6	482,8	377,0	502,6	776,9
	$A_9$	238,8	233,2	913,2	784,6	715,1	502,1	392,2	514,7	811,3
	$A_{10}$	245,0	232,1	912,8	784,9	713,5	506,1	391,8	521,1	810,5
	$A_{11}$	230,9	221,5	914,5	784,9	714,4	506,3	391,5	522,3	810,4
	$A_{12}$	265,7	240,6	921,2	794,8	716,6	508,3	400,1	522,5	808,0
	$A_{13}$	74,2	126,4	853,5	719,6	662,9	468,5	365,8	488,9	759,9
	$A_{14}$	236,0	244,0	919,2	787,6	717,7	507,0	396,2	523,1	807,9
	$A_{15}$	244,7	236,1	915,2	786,7	716,6	507,9	392,3	521,0	807,4
Komponen tensor Suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	266,1	258,3	929,3	799,6	725,5	515,0	403,3	528,7	816,6
	$\chi_2$	253,0	239,9	899,4	790,5	715,1	501,3	391,9	517,0	801,4
	$\chi_3$	178,4	192,4	897,0	760,1	695,6	493,2	383,4	509,6	793,1
	$\chi_4$	4,2	2,0	-2,1	-1,1	-0,6	0,4	0,0	-0,4	-0,1
	$\chi_5$	5,2	0,2	-0,6	1,7	-0,3	1,0	0,8	1,4	0,4
	$\chi_6$	10,9	2,8	0,7	2,3	0,3	0,7	1,2	-0,5	-0,7
Swanilai suseptibilitas	$\chi_1$	176,8	192,3	896,9	759,9	695,6	493,0	383,3	509,3	793,1

$\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_2$	251,8	239,7	899,4	790,5	715,1	501,4	392,0	517,3	801,4
	$\chi_3$	268,9	258,7	929,4	799,8	725,6	515,0	403,4	528,7	816,6
Nilai suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_m$	232,5	230,2	908,6	783,4	712,1	503,1	392,9	518,4	803,7

		P19	P20
Pengukuran suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$A_1$	623,5	432,3
	$A_2$	658,4	407,7
	$A_3$	653,1	386,5
	$A_4$	664,9	371,2
	$A_5$	627,0	381,8
	$A_6$	631,5	379,7
	$A_7$	664,5	417,4
	$A_8$	612,9	290,4
	$A_9$	614,8	342,0
	$A_{10}$	645,1	393,7
	$A_{11}$	667,5	357,8
	$A_{12}$	641,6	430,8
	$A_{13}$	580,6	339,2
	$A_{14}$	614,5	367,8
	$A_{15}$	658,5	392,4
Komponen tensor Suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	659,7	409,6
	$\chi_2$	633,0	357,6
	$\chi_3$	619,0	370,9
	$\chi_4$	-0,8	-3,5
	$\chi_5$	15,8	22,4



	$\chi_6$	4,5	24,4
Swanilai suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_1$	608,3	336,4
	$\chi_2$	643,1	379,5
	$\chi_3$	660,2	422,2
Nilai suseptibilitas $\times 10^{-8} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3$	$\chi_m$	637,2	379,4



### Lampiran 3 Pseudo-code AMS di Matlab R2015a

```
%% Metode perhitungan parameter Anisotropi (baik suseptibilitas  
maupun remanen magnetik)  
%% Original Program oleh Arry HMDKSP on MATLAB 6.0  
%% Modifikasi oleh Arif Budiman  
%% Bismilah :)  
%%  
clear all; close all; clc;  
%% Data diperoleh 15 arah  
  
%% B=Matriks yang berhubungan antara hasil pengukuran komponen  
tensor Anisotropi  
B=[0.5 0.5 0 -1 0 0; 0.5 0.5 0 1 0 0; 1 0 0 0 0 0; 0.5 0.5 0 -1  
0 0; 0.5 0.5 0 1 0 0; 0 0.5 0.5 0 -1 0; 0 0.5 0.5 0 1 0; 0 1  
0 0 0 0; 0 0.5 0.5 0 -1 0; 0 0.5 0.5 0 1 0; 0.5 0 0.5 0 0 -  
1; 0.5 0 0.5 0 0 1; 0 0 1 0 0 0; 0.5 0 0.5 0 0 -1; 0.5 0 0.5  
0 0 1];  
  
% C=Matriks transpose dari [B]  
C=B';  
  
% E=Matriks [C] dikali matriks [B]  
E=C*B;  
  
% R=Matriks invers dari [E]  
R=inv(E);  
  
% G=Matriks [R] dikali matriks [c]  
G=R*C;  
  
%% Prosedur memasukkan data kelima belas arah dari sampel  
% for i=1:15,  
%     for j=1:1,  
%         disp(['Suseptibilitas Sampel Arah  
A(',num2str(i),',',num2str(j),')']);  
%         A(i,j)=input('=');  
%     end  
% end  
  
%% Data  
  
[num,txt,row]=xlsread('datasuseptibilitass.xlsx','sheet1','D3:W27'  
);  
A=num(:,25)  
  
% Prosedur pengambilan data yang disimpan  
A=[A(1,1); A(2,1); A(3,1); A(4,1); A(5,1); A(6,1); A(7,1);  
A(8,1); A(9,1); A(10,1); A(11,1); A(12,1); A(13,1); A(14,1);  
A(15,1)];  
  
% Prosedur mencari parameter tensor Anisotropi dengan metode  
least Fit  
X=G*A;
```



```

% H=Elemen matriks yang menggambarkan parameter [X] ordo (6x1) ke
matriks ordo (3x3)
H=[X(1,1) X(4,1) X(6,1); X(4,1) X(2,1) X(5,1); X(6,1) X(5,1)
X(3,1)]

% Prosedur penentuan vektor eigen dan nilai eigen
% matriks [D]= besar 3 nilai eigen dengan matriks (3x3)
% matriks [V]= arah maksimum, intermediet dan minimum
D=eigs(H)

% K=Nilai suseptibilitas sampel, penjumlahan swanilai
D(1,1)+D(2,2)+D(3,3)
% dibagi 3
K=(D(1,1)+D(2,1)+D(3,1))/3

%% Review oleh Nining Jumianti

```



#### Lampiran 4 Dokumentasi

Pengambilan Sampel



Pengeringan Sampel



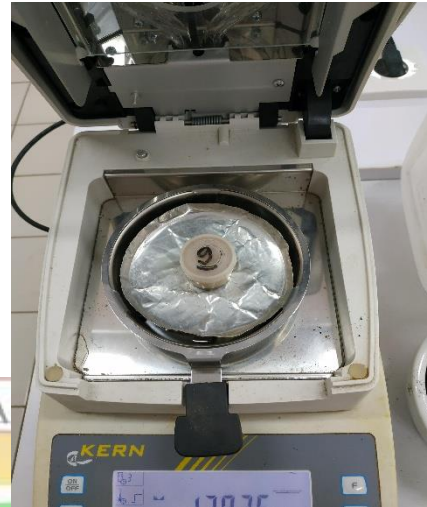
Penggerusan Sampel



Pengayakan Sampel



Penimbangan *Sample Holder*



Penimbangan *Sample Holder*+Sampel



Pengukuran suseptibilitas