

**UJI RELIABILITAS METODE SUSEPTIBILITAS MAGNETIK
DALAM MEMONITORING LOGAM BERAT PADA SEDIMEN
DASAR SUNGAI KRUENG ACEH**

TUGAS AKHIR

FATHUL HAKIM

NIM. 150702029

**Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2020 M/1442 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

**UJI RELIABILITAS METODE SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DALAM
MEMONITORING LOGAM BERAT PADA SEDIMEN DASAR SUNGAI
KRUENG ACEH**

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh

**FATHUL HAKIM
NIM. 150702029**

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry

Disetujui Oleh:

Pembimbing I,



Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901

Pembimbing II,



Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc.
NIDN. 2015118002

**UJI RELIABILITAS METODE SUSEPTIBILITAS MAGNETIK
DALAM MEMONITORING LOGAM BERAT PADA SEDIMEN
DASAR SUNGAI KRUENG ACEH**

TUGAS AKHIR

**Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda
Aceh dan dinyatakan lulus serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi
Program Sarjana (S-1) dalam Ilmu Teknik Lingkungan**

Pada Hari/Tanggal: Rabu, 26 Agustus 2020
7 Muharam 1442

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

Ketua,



Dr. Abdullah Mufahid Hamdan, M.Sc.
NIDN. 2013128901

Sekretaris,



Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc.
NIDN. 2015118002

Penguji I,



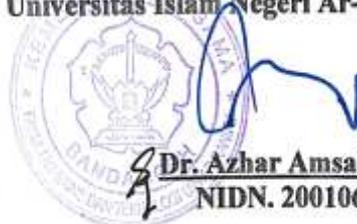
Yeggi Darnas, M.T.
NIDN. 2020067905

Penguji II,



Febrina Arfi, M.Si.
NIDN. 2021028601

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Azhar Amsal, M.Pd. R
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fathul Hakim

NIM : 150702029

Program Studi : Teknik Lingkungan

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Uji Reliabilitas Metode Suseptibilitas Magnetik dalam Memonitoring Logam Berat pada Sedimen Dasar Sungai Krueng Aceh

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 26 Agustus 2020
Yang Menyatakan,


Fathul Hakim

ABSTRAK

Nama : Fathul Hakim
NIM : 150702029
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Uji Reliabilitas Metode Suseptibilitas Magnetik dalam Memonitoring Logam Berat pada Sedimen Dasar Sungai Krueng Aceh
Tanggal sidang : 26 Agustus 2020/ 07 Muharam 1442 H
Tebal Skripsi : 85 Halaman
Pembimbing I : Dr. Abdullah Mujahid Hamdan, M.Sc.
Pembimbing II : Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc.
Kata Kunci : Suseptibilitas Magnetik, Krueng Aceh, Logam Berat, Monitoring.

Metode suseptibilitas magnetik telah digunakan sebagai metode *monitoring*. Sejauh ini, metode suseptibilitas magnetik telah dianggap sebagai metode yang efektif dan efisien dalam menganalisis kelimpahan logam berat dalam suatu bahan, termasuk didalam sedimen. Namun, validitas dan reliabilitas metode magnetik mulai dipertanyakan untuk menganalisis sedimen dari lingkungan vulkanis yang memiliki batuan dasar dengan kandungan logam berat dan mineral magnetik yang relatif tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji reliabilitas metode magnetik dalam *monitoring* logam berat pada sedimen sungai vulkanis, dengan mengambil lokasi di Sungai Krueng Aceh, Indonesia. Analisis yang digunakan terdiri dari pengukuran suseptibilitas magnetik dan analisa kimia dan mineralogi sedimen. Suseptibilitas magnetik menggunakan *Bartington* sensor MS2B dengan menggunakan frekuensi 470 kHz dan 47 KHz. Analisis kimia menggunakan metode XRF dan EDS. Analisis mineralogi menggunakan metode XRD. Sementara itu, analisa morfologi bulir menggunakan metode SEM. Hasil penelitian menunjukkan korelasi antara metode suseptibilitas magnetik dengan kandungan Cr. Kemudian kandungan logam Cr juga berkorelasi dengan logam Ti. Selain itu, logam Ti juga berkorelasi dengan logam Fe. Berdasarkan hasil analisis Indeks Geoakumulasi tidak semua sampel sedimen mengalami pencemaran. Untuk logam Cr hanya pada Titik 5 terjadinya pencemaran dengan kategori ringan. Sementara untuk logam Zn, pada Titik 6, 7, dan 8 tercemar dengan kategori ringan. Sementara itu, kelimpahan Fe dalam sampel sedimen tidak mencemari lingkungan dan mineral yang terkandung didalamnya bukan mineral magnetite maupun hematite dan berdasarkan analisis SEM diperoleh morfologi bulir yang merupakan bukan bulir bulat atau bukan dari aktivitas antropogenik, sehingga keberadaan Fe dalam sampel berasal dari pelapukan batuan dasar, erosi, dan transportasi sedimen. Metode suseptibilitas magnetik memiliki korelasi 0,724 dengan logam Cr sehingga sangat bagus untuk digunakan sebagai indikator proksi pencemaran Cr pada sedimen Sungai Krueng Aceh.

KATA PENGANTAR



Dengan mengucapkan Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahman dan rahim-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Uji Reliabilitas Metode Suseptibilitas Magnetik dalam memonitoring Logam Berat pada Sedimen Dasar Sungai Krueng Aceh”**. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Srata-1 Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Perjalanan panjang telah penulis tempuh dalam rangka menyelesaikan Tugas Akhir ini, penulis menerima banyak sekali bantuan, dukungan, kritik, saran dan doa, sehingga Tugas Akhir ini berhasil diselesaikan. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, pada kesempatan ini patutlah kiranya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, beserta kakak dan sanak saudara yang senantiasa memberikan doa dan dukungan selama penyelesaian Tugas Akhir.
2. Dr. Abdullah Mujahid Hamdan, M.Sc. Selaku Pembimbing I, yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap kesulitan dalam penulisan Tugas Akhir.
3. Bapak Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc Selaku Pembimbing II, yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu serta solusi pada setiap permasalahan Tugas Akhir.
4. Dr. Eng. Nur Aida, M.Si. Selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan.
5. Ibu Yeggi Darnas, S.T. M.T. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, juga dosen pengampu bidang TLPB3 yang telah berkenan memberikan tambahan ilmu dan pengalaman.
6. Bapak Fathul Mahdariza, M.Sc. dan Bapak Aulia Rohendi, M.Sc. Selaku dosen pembimbing akademik yang telah banyak memberikan arahan, motivasi dan dukungan selama masa perkuliahan.

7. Bapak Teuku Muhammad Ashari, M.Sc. Selaku kepala Laboratorium Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmu, pengalaman serta saran dan masukan pada saat seminar proposal.
8. Seluruh Dosen Prodi Teknik Lingkungan yang telah berkenan memberi tambahan ilmu, pengalaman dan arahan kepada penulis.
9. Staf Program Studi Teknik Lingkungan dan staf Tata Usaha/Akademik Fakultas Sains dan Teknologi yang selalu membantu dalam kepengurusan administrasi selama masa perkuliahan.
10. Teman-teman seperjuangan di Teknik Lingkungan angkatan 2015 yang selalu memberikan dorongan semangat serta motivasi.

Akhir kata penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan limpahan berkah dan rahmat-Nya. Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan metode dalam mengelola lingkungan hidup.

Banda Aceh, 26 Agustus 2020
Penulis,

Fathul Hakim

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Metode Pengujian Logam.....	5
2.2 Suseptibilitas Magnetik	5
2.3 Kemagnetan Bahan.....	7
2.4 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	7
2.5 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	9
2.6 <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	10
2.7 Sungai	12
2.7.1 Pengertian Sungai	12
2.7.2 Definisi DAS	12
2.7.3 Sedimen Sungai.....	13
2.7.4 Metode Penilaian Kualitas Sedimen Sungai	15
2.8 Sungai Krueng Aceh.....	16
2.9 Kondisi Geologi Sungai Krueng Aceh	17
2.10 Definisi Batuan	18
2.11 Logam Berat	19
2.11.1 Pengertian Logam Berat	19
2.11.2 Pencemaran dan Dampak Logam Berat.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Alur Penelitian	22
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	23
3.3 Data Penelitian.....	23
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	24
3.4.1 Penentuan Lokasi Penelitian	24
3.4.2 Pengambilan Sampel Sedimen	26

3.4.3 Preparasi Sampel Sedimen	27
3.4.4 Analisis Sifat Magnetik	28
3.4.5 Analisis Kimia dan Fisika	29
3.4.6 Analisis Statistik.....	29
3.4.7 Analisis Korelasi Pearson.....	30
3.4.8 Analisis Pencemaran Logam Berat	30
3.4.9 Pengolahan Data.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Hasil.....	32
4.1.1 Hasil Analisis Kimia	32
4.1.2 Hasil Analisis Mineralogi.....	34
4.1.3 Hasil Pengukuran Magnetik.....	35
4.1.4 Hasil Analisa SEM-EDS	36
4.1.5 Hasil Analisis Statistik	39
4.1.6 Analisis Indeks Geoakumulasi dan Gradien Logam Berat	41
4.2 Pembahasan	44
4.2.1 Status Sungai Krueng Aceh.....	44
4.2.2 Reliabilitas Metode Suseptibilitas Magnetik dalam Monitoring Logam Berat	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(1) Elektron Tereksitasi Keluar, (2) Pengisian Kekosongan Elektron, (3) Pelepasan Energi, (4) Proses analisis data	8
Gambar 2.2	Bentuk-bentuk DAS	13
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	22
Gambar 3.2	Peta Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen Sungai	25
Gambar 3.3	Alat <i>Sediment grab</i>	26
Gambar 3.4	(a) <i>Sediment grab</i> diturunkan, (b) sampel sedimen dikemas	26
Gambar 3.5	(a) Proses pengeringan sampel sedimen, (b) proses penyaringan sampel sedimen, (c) proses ekstraksi sedimen untuk pengukuran XRD dan SEM-EDS, (d) sampel sedimen dikemas dan diberi label	27
Gambar 3.6	Instrumen pengukuran suseptibilitas magnetik, (a) Bartington MS2B, (b) perangkat komputer yang terhubung ke Bartington MS2B	28
Gambar 3.7	<i>Holder</i> wadah sampel, (a) <i>holder</i> kosong (b) <i>holder</i> yang terisi sampel (c) sampel sedimen dalam <i>holder</i> dikemas dalam plastik	28
Gambar 4.1	Grafik Distribusi Konsentrasi Logam Berat	33
Gambar 4.2	Kurva Difraktogram Hasil Pengukuran XRD	34
Gambar 4.3	Grafik Distribusi Suseptibilitas Magnetik	35
Gambar 4.4	Foto SEM Sampel Sedimen Sungai Krueng Aceh	37
Gambar 4.5	Foto SEM <i>Mapping</i>	39
Gambar 4.6	Korelasi antara nilai χ_{LF} dengan logam Cr	40
Gambar 4.7	Hasil Analisis Korelasi Pearson	41
Gambar 4.8	Grafik distribusi Hasil Analisis Indeks Geoakumulasi	42
Gambar 4.9	Gradien Pengayaan Logam Berat	43
Gambar 4.10	Grafik Pola Distribusi Logam Cr, Ti, dengan Nilai χ_{LF}	47
Gambar 4.11	Grafik Pola Distribusi Logam Zn dengan Nilai χ_{FD} (%)	49

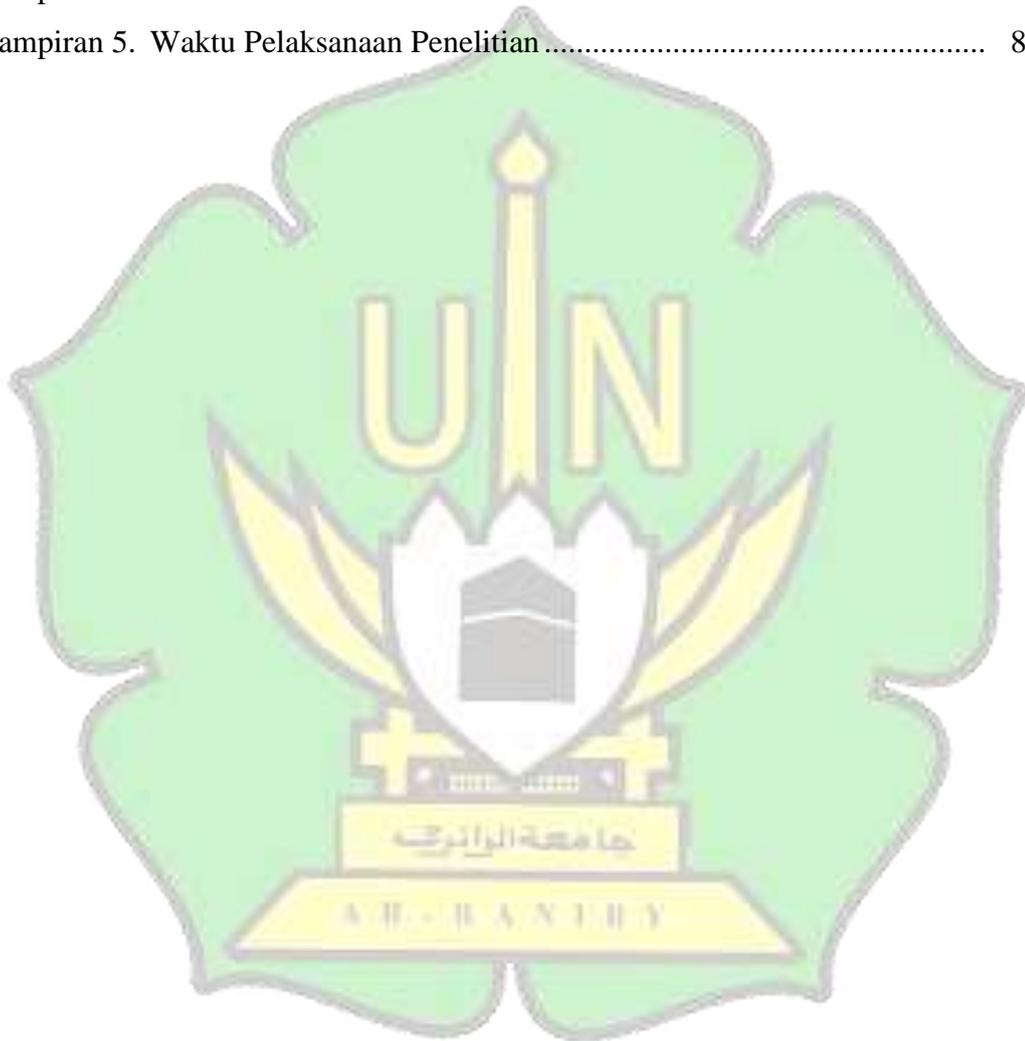
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Interpretasi nilai $\chi_{FD}(\%)$	6
Tabel 2.2 Kriteria tingkat pencemaran (I_g).....	16
Tabel 3.1 Data Primer dan Sekunder.....	23
Tabel 4.1 Konsentrasi Logam Berat pada masing-masing sampel.....	32
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran XRD pada Hulu dan Hilir Sungai.....	34
Tabel 4.3 Rata-rata nilai Suseptibilitas Magnetik.....	35
Tabel 4.4 Korelasi Pearson antara Parameter Magnetik dan Logam Berat.....	39
Tabel 4.5 Nilai Indeks Geoakumulasi Logam Berat.....	41



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian	62
Lampiran 2. Surat Izin Pengukuran pada Laboratorium ITB.....	66
Lampiran 3. Sertifikat Hasil Pengukuran Laboratorium.....	67
Lampiran 4. Hasil Analisis Korelasi Pearson.....	83
Lampiran 5. Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	84



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemantauan kualitas lingkungan adalah salah satu aspek dalam pengelolaan lingkungan hidup. Pemantauan merupakan upaya dan strategi dalam mengambil langkah-langkah praktis untuk mencegah perubahan dan dampak negatif terhadap keberlangsungan makhluk hidup dan ekosistemnya (Chandrasekaran dkk., 2020 dan Kumari dkk., 2020). Teknologi *monitoring* yang digunakan merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan upaya tersebut. Efektifitas dan efisiensi perlu dipertimbangkan dalam penerapan dan pengembangan teknologi *monitoring*. Beberapa pendekatan telah digunakan dalam implementasinya, baik biologi, kimia dan fisika (Artiola dan Brusseau, 2019).

Metode pemantauan lingkungan dengan pengukuran dan analisis suseptibilitas magnetik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam melakukan *monitoring* lingkungan hidup. Metode ini telah digunakan secara luas pada berbagai objek kawasan seperti danau (Yunginger dkk., 2018), sungai (Sudarningsih dkk., 2017 dan maryanto dkk., 2019) dan laut. Objek yang diukur juga tidak terbatas, termasuk diantaranya batuan (Reyes dkk., 2011), tanah (Kanu dkk., 2014) debu, daun tanaman (Hamdan dkk., 2019 dan Hamdan dkk., 2020), hewan, dan sedimen. Untuk sedimen, pengukuran suseptibilitas magnetik telah dilakukan dalam *monitoring* lingkungan seperti, tanah permukaan (Reyes dkk., 2013), sedimen danau (Bao dkk., 2011 dan Yunginger dkk., 2018), sedimen laut, dan sedimen sungai (Sudarningsih dkk., 2017 and Maryanto dkk., 2019). *Monitoring* kualitas sedimen sungai dengan metode suseptibilitas magnetik dianggap sebagai metode yang sederhana, cepat, dan non destruktif (Lu dkk, 2010, Yin dkk., 2013 dan Hamdan dkk., 2020).

Di lain sisi, Sungai Krueng Aceh merupakan sungai yang memiliki debit besar dengan panjang sungai ± 145 km. Sungai Krueng Aceh melewati dua Kabupaten/Kota yakni Aceh Besar dan Banda Aceh. Aliran Sungai Krueng Aceh

berhulu di pergunungan Jantho Kabupaten Aceh Besar dan bermuara di Selat Malaka (Rezeki, 2019). Sungai Krueng Aceh sangat potensial sebagai sumber daya air untuk memenuhi kebutuhan sumber daya air bagi penduduk di Kabupaten Aceh Besar dan warga Kota Banda Aceh, diantaranya untuk memenuhi kebutuhan air bersih (kebutuhan sehari-hari) dan air untuk irigasi (Tanjung, 2016).

Kota Banda Aceh merupakan Kota yang terletak di hilir Sungai Krueng Aceh. Kota Banda Aceh mengalami perkembangan pembangunan pesat dan laju pertumbuhan penduduk yang mencapai 1,96% (BPS Kota Banda Aceh, 2018). Dengan laju pertumbuhan penduduk yang terus mengalami peningkatan, mengakibatkan meningkatnya aktifitas penduduk dan berpotensi terjadinya pencemaran terhadap lingkungan terutama Sungai Krueng Aceh. Wilayah perairan hilir Sungai Krueng Aceh diduga telah menerima beban pencemaran baik berupa limbah domestik, organik, industri, logam berat maupun tumpahan minyak yang cenderung meningkat dari waktu ke waktu hingga dikhawatirkan telah melebihi daya dukungnya (Hadi dkk, 2018).

Berdasarkan hasil penelitian Hadi dkk. (2018) diketahui bahwa hilir Sungai Krueng Aceh telah terkandung logam berat seperti Pb dan Cd. Kandungan logam berat tertinggi yang ditemukan pada sampel air di hilir Krueng Aceh adalah Pb dengan konsentrasi rata-rata 0,052 mg/L. Kemudian konsentrasi rata-rata Cd ialah 0,015 mg/L dan dikategorikan tercemar berdasarkan baku mutu yang ditetapkan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 tahun 2003, tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air. Keberadaan logam berat dalam perairan Sungai Krueng Aceh diketahui disebabkan oleh aktivitas manusia seperti kegiatan perdagangan, perkapalan di hilir Sungai Krueng Aceh, dan limbah limbah yang dihasilkan dari industri perikanan maupun domestik (Makmur, 2013).

Sementara itu, Sungai Krueng Aceh adalah sungai yang berada di wilayah vulkanis (Syukri dkk., 2018). Wilayah vulkanis diketahui memiliki kandungan logam berat dan mineral magnetik yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan sungai non vulkanis (Sudarningsih dkk., 2017 dan Maryanto dkk., 2019). Penelitian sebelumnya, Sudarningsih dkk. (2017) merekomendasikan perlunya kehati-hatian penggunaan metode magnetik pada sedimen sungai vulkanis.

Sehingga, metode magnetik yang sebelumnya dianggap efektif dalam *monitoring* logam berat, perlu dilakukan uji reliabilitas untuk *monitoring* logam berat pada sungai vulkanis. penelitian yang dilakukan Sudarningsih dkk. (2017) melaporkan bahwa metode magnetik mampu digunakan untuk memantau sungai vulkanis pada daerah urban metropolitan di kawasan industri seperti Sungai Citarum Jawa Barat. Namun, reliabilitas metode ini belum diuji untuk sungai vulkanis seperti Sungai Krueng Aceh yang sebagian badan airnya berada pada wilayah urban non metropolitan (medium urban). Oleh karena itu, pengujian kehandalan metode suseptibilitas magnetik perlu dilakukan untuk mengembangkan penerapan metode ini dalam berbagai jenis kawasan dan wilayah geologis, khususnya seperti kawasan Sungai Krueng Aceh.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah seperti berikut:

1. Bagaimanakah status pencemaran logam berat pada sedimen Sungai Krueng Aceh?
2. Bagaimanakah reliabilitas metode suseptibilitas magnetik sebagai indikator proksi kandungan dan mekanisme pengayaan logam berat pada sedimen Sungai Krueng Aceh?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka diperoleh tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis status pencemaran logam berat pada sedimen Sungai Krueng Aceh.
2. Untuk menganalisis reliabilitas metode suseptibilitas magnetik sebagai indikator proksi kandungan dan mekanisme pengayaan logam berat pada sedimen Sungai Krueng Aceh.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk pengelolaan lingkungan hidup yang lebih baik, beberapa manfaat dari penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Bagi Masyarakat

Bagi masyarakat penelitian ini memberikan informasi tentang status pencemaran sungai atau kualitas perairan Sungai Krueng Aceh. sehingga memberikan edukasi untuk selalu menjaga keasrian ekosistem Sungai Krueng Aceh.

2. Bagi Pemerintah

Penelitian ini dapat memberikan informasi kepada dinas terkait, mengenai pencemaran logam berat, sumber pencemaran, dan pengembangan metode dalam *monitoring* lingkungan hidup, khususnya pada sedimen Sungai Krueng Aceh. Sehingga menjadi referensi untuk pengendalian pencemaran lingkungan hidup pada Sungai Krueng Aceh.

3. Bagi Ilmuan dan Teknokrat

Bagi ilmuan dan teknokrat penelitian ini memberikan informasi mengenai reliabilitas serta pengembangan metode magnetik dalam mengindikasikan tingkat pencemaran logam berat pada suatu wilayah khususnya sedimen Sungai Krueng Aceh. Penelitian ini dapat dijadikan referensi keilmuan untuk penelitian selanjutnya dalam melakukan *monitoring* logam berat dilingkungan perairan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Pengujian Logam

Menurut Doddi (2016), proses pengukuran logam merupakan proses dalam menganalisa suatu bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya, meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur, dan komposisi unsur-unsur yang terdapat didalamnya. Metode dalam pengukuran dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. *Destructive Test* (DT), yaitu proses pengukuran logam yang dapat menimbulkan kerusakan pada logam yang diuji.
2. *Non Destructive Test* (NDT), yaitu proses pengukuran logam yang tidak dapat menimbulkan kerusakan pada logam atau benda yang diuji.
3. *Metallography*, yaitu proses pemeriksaan logam tentang komposisi kimianya, unsur-unsur yang terdapat didalamnya, dan bentuk strukturnya.

2.2 Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik merupakan parameter kerentanan magnetik suatu bahan terhadap pengaruh medan magnetik luar. Suseptibilitas magnetik juga dapat diartikan sebagai respons sampel terhadap medan magnetik luar, respons yang diberikan berupa medan magnetik juga (Brempong dkk, 2016). Tingkat kemampuan suatu benda untuk dimagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas magnetik (k), yang di dirumuskan sebagai berikut (Masrayanti, 2013):

$$M = kH, \quad (2.1)$$

Dengan M merupakan Magnetisasi, k ialah Suseptibilitas magnetiknya dan H adalah Kuat medan. Suseptibilitas magnetik dapat juga dimaknai sebagai derajat kemagnetan dari suatu bahan. Nilai k pada batuan semakin tinggi jika didalam batuan tersebut terdapat mineral magnetik. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai suseptibilitas batuan ialah jenis batuan dan komposisi batuan (Masrayanti, 2013). Berdasarkan nilai kerentanan magnet, suseptibilitas

bahan dapat dibedakan menjadi, (a) Diamagnetik, mempunyai nilai suseptibilitas yang lebih kecil dan negatif. (b) Paramagnetik, mempunyai nilai suseptibilitas yang kecil dan positif, dan (c) Ferromagnetik, yaitu bahan paramagnetik yang memiliki nilai suseptibilitas besar dan positif.

Pengukuran suseptibilitas magnetik merupakan metode sederhana, cepat, dan non destruktif yang dapat digunakan sebagai indikator yang efektif untuk mengetahui pencemaran logam berat pada tanah (Lu dkk, 2010). Alat yang digunakan dalam penentuan suseptibilitas magnetik disebut *susceptibility* meter. Salah satu *susceptibility* meter yang banyak digunakan adalah *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* dengan *dual frequency* sensor MS2B (Girdler, 1961). Pengukuran suseptibilitas magnetik dapat dilakukan pada dua frekuensi yaitu frekuensi rendah (47 kHz) dan frekuensi tinggi (470 kHz). Pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dalam dua frekuensi dimaksudkan untuk memperoleh nilai *frequency dependent susceptibility* $\chi_{FD}(\%)$. $\chi_{FD}(\%)$ merupakan perubahan suseptibilitas dengan frekuensi rendah χ_{LF} dan frekuensi tinggi χ_{HF} seperti yang ditunjukkan sesuai Persamaan 2.2.

$$\chi_{FD}(\%) = \frac{|\chi_{LF} - \chi_{HF}|}{\chi_{LF}} \times 100 \quad (2.2)$$

Untuk mengetahui kandungan bulir dalam sampel, maka dilakukan interpretasi nilai $\chi_{FD}(\%)$ yang ditunjukkan pada Tabel 2.1:

Tabel 2.1 Interpretasi nilai $\chi_{FD}(\%)$

Nilai $\chi_{FD}(\%)$	Keterangan
0,0-2,0	Tidak ada atau mengandung kurang 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)

2.3 Kemagnetan Bahan

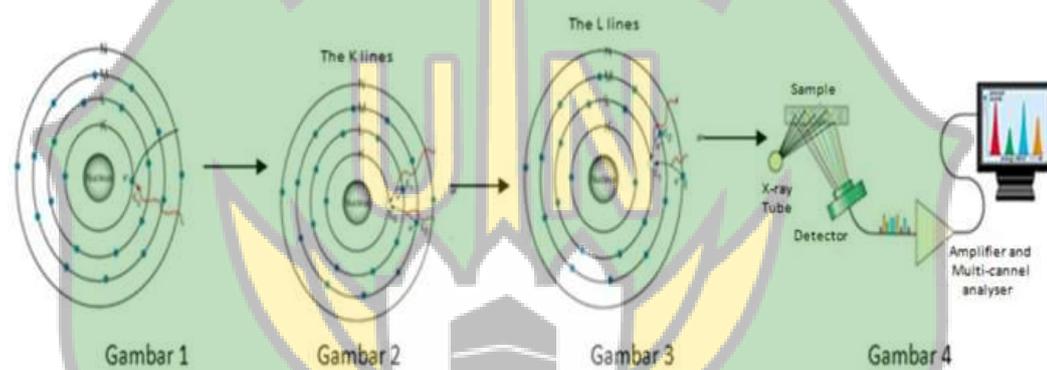
Berbagai jenis batuan memiliki bermacam-macam mineral magnetik didalamnya yang masing-masing dapat dikelompokkan kedalam; paramagnetik, feromagnetik serta diamagnetik. Hampir keseluruhan mineral yang terdapat di alam memiliki sifat diamagnetik dan/atau paramagnetik. Akan tetapi, juga terdapat mineral mineral yang bersifat feromagnetik. Mineral tersebut tergolong kedalam oksida besi titanium, sulfida besi dan hidrooksida besi yang disebut sebagai mineral magnetik (Masrayanti, 2013). Bahan magnetik digolongkan menjadi, diamagnetik, feromagnetik, ferimagnetik, antiferomagnetik dan paramagnetik. Bahan diamagnetik merupakan suatu bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik kecil dan negatif (Tripler, 2001). Bahan paramagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas yang positif dan berukuran sangat kecil (Tripler, 2001). Bahan feromagnetik ialah bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik positif dan sangat tinggi (Tripler, 2001). Bahan ferimagnetik mempunyai nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi, akan tetapi nilai suseptibilitasnya lebih rendah dari bahan feromagnetik. Bahan antiferomagnetik ialah bahan yang nilai suseptibilitas magnetiknya sangat kecil yaitu hampir mendekati paramagnetik.

2.4 X-Ray Fluorescence (XRF)

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan teknik analisa non destruktif yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada padatan, bubuk ataupun sampel cair. XRF mampu mengukur elemen dari berilium hingga Uranium pada level *trace element*, bahkan di bawah level ppm. Secara umum, XRF spektrometer mengukur panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi *fluorescence* yang dihasilkan sampel saat diradiasi dengan sinar-X (PANalytical, 2009).

Metode XRF secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. Karena metode ini cepat dan tidak merusak sampel, metode ini dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X tetapi juga

sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi (Jamaluddin, 2016). Metode XRF mempunyai beberapa keuntungan diantaranya biaya relatif murah, *multi elemental* (dapat mendeteksi berbagai macam material), analisisnya cepat dan hasil analisisnya bersifat kualitatif dan kuantitatif. Disisi lain, penggunaan metode XRF juga memiliki kekurangan yakni tidak dapat mendeteksi unsur karbon dalam logam (Shibuya, 2003 dan Fitri, 2016). Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan X-Ray akibat dari efek foto listrik. Efek foto listrik akibat dari elektron dalam atom pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (X-Ray). Berikut adalah penjelasan prinsip kerja XRF berdasarkan efek fotolistrik.



Gambar 2.1 (1) Elektron Tereksitasi Keluar (2) Pengisian Kekosongan Elektron (3) Pelepasan Energi (4) Proses analisis data

Sumber: Sumantry (2002)

1. X-Ray ditembakkan pada sampel, jika selama proses penembakan X-Ray mempunyai energi yang cukup maka elektron akan terlempar (terekstisasi) dari kulitnya yang lebih dalam yaitu kulit K dan menciptakan *vacancy* atau kekosongan pada kulitnya, ditunjukkan pada Gambar 1.
2. Kekosongan tersebut mengakibatkan kondisi yang tidak stabil pada atom. Untuk menstabilkan kondisi maka elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi misalnya dari kulit L dan M akan berpindah menempati kekosongan tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada proses perpindahan tersebut, energi dibebaskan karena adanya perpindahan dari kulit yang memiliki energi lebih tinggi (L/M) ke dalam kulit yang memiliki energi

paling rendah (K). Emisi yang dikeluarkan oleh setiap material memiliki karakteristik khusus.

3. Proses tersebut memberikan karakteristik dari X-Ray, yang energinya berasal dari perbedaan energi ikatan antar kulit yang berhubungan. X-Ray yang dihasilkan dari proses ini disebut *X-Ray Fluorescence* atau XRF (Gambar 3).
4. Proses untuk mendeteksi dan menganalisa X-Ray yang dihasilkan disebut *X-Ray Fluorescence Analysis*. Penggunaan spektrum X-Ray pada saat penyinaran suatu material akan didapatkan *multiple peak* pada intensitas yang berbeda.

2.5 *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan suatu teknik pengujian yang digunakan untuk mengetahui unsur dan senyawa kimia, struktur kristal, parameter kisi, volume kisi dan lain-lain. Teknik pengujian ini tidak akan merusak material yang akan diuji (Smallman Bishop, 2000). Sedangkan menurut Callister (2007), XRD merupakan metode yang sangat penting dalam bidang karakterisasi material. Metode ini digunakan untuk memperoleh informasi dalam skala atomik, baik pada material kristal maupun non kristal (amorf). Menurut Smallman Bishop (2000), Metode yang digunakan untuk mengetahui kristalinitas mineral adalah dengan difraksi sinar-X. Analisis difraksi sinar-X merupakan metode yang bersifat tidak merusak, yang berarti bahwa contoh tidak dipengaruhi oleh analisis dan masih dapat digunakan untuk analisis lain. Akan tetapi metode ini tidak dapat diterapkan untuk analisis bahan yang bersifat amorf atau non kristalin. Teknik karakterisasi XRD telah dilakukan oleh banyak peneliti untuk memperoleh informasi terkait (Suryanarayana dan Norton, 2007):

1. Informasi struktur kristal zat padat termasuk geometri dan konstanta kisinya.
2. Ukuran kristal.
3. Orientasi kristal tunggal maupun poli kristal.
4. Fase yang terbentuk baik dari sintesis material maupun reaksi kimia.
5. Identifikasi material yang belum diketahui.

Menurut Suharyana (2012), prinsip kerja dari analisa XRD ialah sebelum menganalisa, sampel dihaluskan terlebih dahulu dalam mortal dan alu atau menggunakan *mill grinding*. Setelah halus sampel tersebut dimasukkan dalam *holder* sampel XRD. Difraksi dari alat XRD yang dioperasikan menggunakan sumber tegangan Cu pada 40 KV dan 40 mA sebagai sumber radiasi. Sudut *scanning* dimulai dari 10° sampai 100°. Sampel dikenai suatu sinar-X yang dipancarkan dari sumber tegangannya. Sinar-X tersebut akan menabrak suatu bidang kristal, yang menghasilkan pancaran sinar-X yang dibiaskan oleh suatu bidang kristal tersebut. Obyek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas dari pantulan sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik/difraktogram yang khas sesuai dengan kisi-kisi kristal masing-masing senyawa.

2.6 *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan alat yang dapat membentuk bayangan permukaan. Struktur permukaan suatu benda yang akan diuji dapat dipelajari dengan mikroskop elektron pancaran karena jauh lebih mudah untuk mempelajari struktur permukaan itu secara langsung. Pada dasarnya, SEM menggunakan sinyal yang dihasilkan elektron dan dipantulkan atau berkas sinar elektron sekunder. SEM memiliki kemampuan untuk menganalisis sampel tertentu dengan memanfaatkan salah satu metode yang disebutkan di atas. Sayangnya, setiap jenis analisis dianggap merupakan aksesoris perangkat tambahan untuk SEM. Aksesoris yang paling umum dilengkapi dengan SEM adalah dispersi energi detektor X-Ray atau EDX/EDS (Schweitzer, J. 2014).

Untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa dapat digunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM). SEM adalah suatu tipe mikroskop *electron* yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari *electron* dalam suatu pola *scan* raster. *Electron* berinteraksi dengan atom-atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan

sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik (Schweitzer, J. 2014). SEM dapat mengamati struktur maupun bentuk permukaan yang berskala lebih halus, Dilengkapi Dengan EDS (*Electron Dispersive X ray Spectroscopy*) dan dapat mendeteksi unsur-unsur dalam material. Juga Permukaan yang diamati harus penghantar *electron*. Elektron memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada cahaya. Cahaya hanya mampu mencapai 200 nm sedangkan elektron bisa mencapai resolusi sampai 0,1-0,2 nm (Schweitzer, J. 2014).

Menurut Prasetyo, Y. (2011), prinsip dari analisa SEM ialah sampel batuan yang akan dianalisis dihaluskan terlebih dahulu menggunakan mortar atau alu atau menggunakan *mill grinding*. Setelah dihaluskan ditempelkan pada tempat sampel yang sudah dilekatkan *carbon* tape, sisa sampel yang tidak melekat dibersihkan pada *carbon* tape. Kemudian dimasukkan ke dalam *holder* sampel SEM. Alat SEM-EDX memiliki dua monitor. Sistem kerja alat ini adalah dengan sistem vakum, Sebelum proses analisis berlangsung, penghilangan molekul udara didalam alat dilakukan dengan menutup gas dan klik *pump* pada komputer. Penghilangan molekul udara sangatlah penting karena jika ada molekul udara yang lain, elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran, ini disebabkan karena elektron sangat kecil dan ringan. Didalam alat ini terdapat sebuah pistol elektron yang memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda, kemudian lensa magnetik memfokuskan elektron menuju ke sampel dan sinar elektron yang terfokus memindai (*scan*) 10 keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai. Kemudian klik *Beam on*, tunggu hingga *running up* selesai, kemudian klik *camera* pada *keyboard*, sehingga memperlihatkan permukaan sampel, atur kecerahan dan perbesaran serta fokus pada sampel, klik *freez* dan klik *file* dan *save image*. Kemudian pada monitor yang lain klik *new* pada menu *file*. Pada monitor SEM atur *spot size* agar nilai DT% dan CPS naik. Ketika CPS sudah mencapai 10000 dan DT% mendekati 20 klik *Collect* pada monitor EDX. Ketika sinar elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru yang akan diterima oleh detektor dan akan terbaca ke monitor dan memperoleh hasil dalam bentuk gambar permukaan

sampel pada SEM dan bentuk grafik/diagram pada EDX yang menunjukkan persentase unsur-unsur dari sampel yang dianalisa (Prasetyo, 2011).

2.7 Sungai

2.7.1 Pengertian Sungai

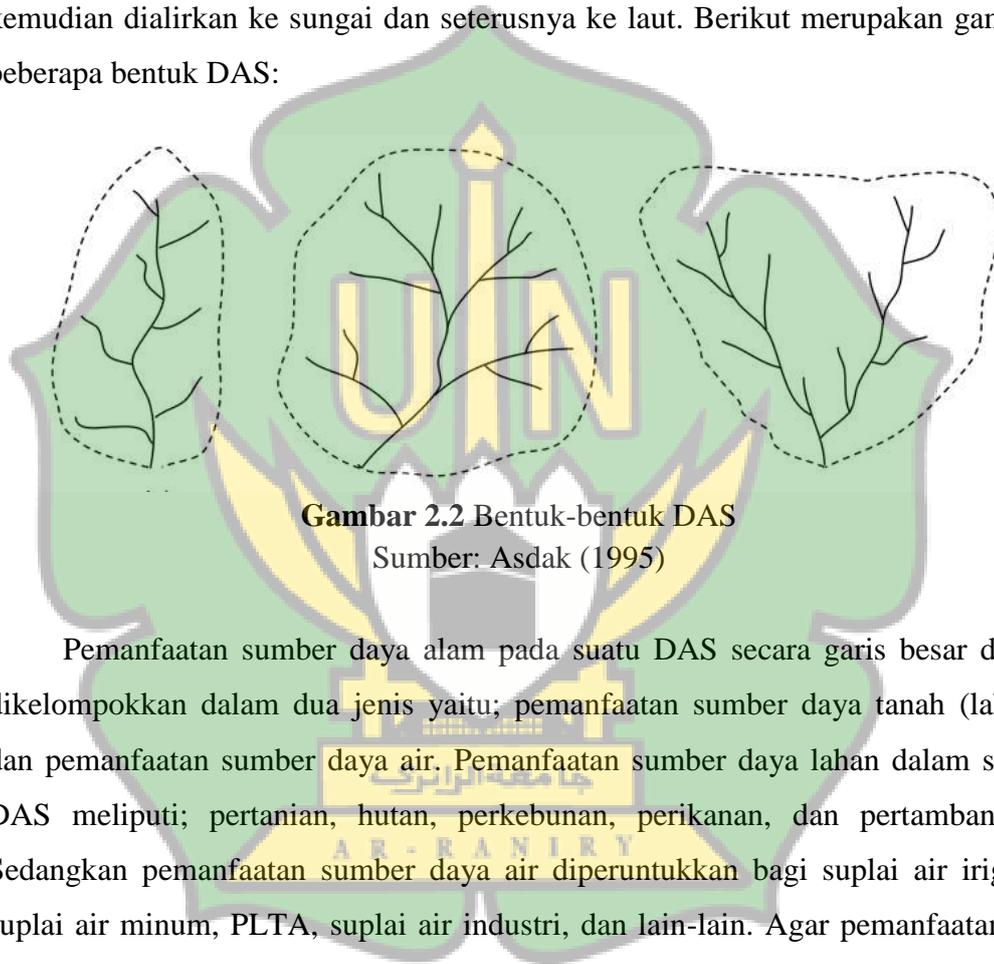
Sungai merupakan salah satu ekosistem, yaitu suatu sistem ekologi yang terdiri atas komponen-komponen yang saling berintegrasi sehingga membentuk suatu kesatuan. Apabila salah satu komponen terganggu, maka hal ini akan mempengaruhi komponen lain yang ada pada sungai tersebut (Asdak, 1995). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 35 (1991) tentang sungai, sungai dinyatakan sebagai suatu jaringan pengaliran air yang dimulai dari hulu sungai sampai ke muara dengan dibatasi oleh garis sempadan pada bagian kanan dan kiri sungai.

Sungai dapat dibagi beberapa bagian, yaitu: hulu, tengah dan hilir. Menurut Asdak (1995) menjelaskan bahwa sistem ekologi di daerah hulu pada umumnya dapat dipandang sebagai suatu ekosistem pedesaan. Umumnya bagian hulu sungai dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan seperti perkebunan, pertanian, hutan, dan lain sebagainya (Asdak, 1995). Karena itu, bahan-bahan yang berpotensi sebagai pencemar adalah limbah hasil pertanian dan daun-daun kering yang berguguran ke permukaan sungai. Sungai yang melalui daerah pemukiman berpotensi untuk tercemar limbah domestik yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Hal ini dikarenakan kebiasaan manusia untuk membuang limbah ke aliran sungai (Wicaksono, 2008). Limbah yang dibuang ke aliran sungai akan mempengaruhi kualitas air sungai tersebut. Limbah tersebut dapat mempengaruhi reaksi kimia dalam sungai (Hem, 1970). Pencemar yang masuk ke sungai, baik dari bagian hulu dan tengah akan terakumulasi di daerah hilir.

2.7.2 Definisi DAS (Daerah Aliran Sungai)

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu zona yang dibatasi oleh pemisah topografi yang menampung, menyimpan dan kemudian mengalirkan air hujan ke sungai (Manan, 1979). Menurut Soeryono (1979), menyatakan bahwa

DAS merupakan kawasan ekosistem yang terdiri dari vegetasi, tanah, air dan manusia dengan segala aktivitas didalamnya. Sebagai suatu ekosistem, pada DAS mengalami interaksi antara faktor biotik dan fisik yang menggambarkan keseimbangan masukan dan keluaran berupa erosi dan sedimentasi. Menurut Asdak (1995), Daerah Aliran Sungai merupakan wilayah yang secara topografi dibatasi oleh beberapa bukit yang menampung air dan mengalirkan air hujan dan kemudian dialirkan ke sungai dan seterusnya ke laut. Berikut merupakan gambar beberapa bentuk DAS:



Gambar 2.2 Bentuk-bentuk DAS
Sumber: Asdak (1995)

Pemanfaatan sumber daya alam pada suatu DAS secara garis besar dapat dikelompokkan dalam dua jenis yaitu; pemanfaatan sumber daya tanah (lahan) dan pemanfaatan sumber daya air. Pemanfaatan sumber daya lahan dalam suatu DAS meliputi; pertanian, hutan, perkebunan, perikanan, dan pertambangan. Sedangkan pemanfaatan sumber daya air diperuntukkan bagi suplai air irigasi, suplai air minum, PLTA, suplai air industri, dan lain-lain. Agar pemanfaatannya dapat berkelanjutan, pengelolaan dan pemantauan kondisi suatu DAS harus dilakukan secara optimal serta kontinyu (Kartiwa dan Nasrullah, 2010).

2.7.3 Sedimen Sungai

Sedimen ialah bagian tanah atau partikel yang dibawa oleh aliran air dari suatu tempat yang mengalami erosi pada suatu DAS baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya, kemudian hasil erosi masuk ke dalam

badan perairan hingga terjadinya sedimentasi pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat (Arsyad, 2000). Menurut Wahyuni (2016) Sedimentasi adalah suatu proses pengendapan material yang terangkut oleh air, angin, es. Delta yang terdapat pada mulut-mulut sungai adalah hasil dari proses pengendapan material yang diangkut oleh air sungai. Kecepatan distribusi sedimen merupakan fungsi dari kecepatan aliran sungai dan ukuran partikel sedimen dalam badan air. Terdapat tiga cara pengangkutan partikel sedimen didalam badan air, yaitu sebagai berikut:

- a. Terlarut (*wash load*), merupakan pengangkutan partikel sedimen dalam aliran air yang berukuran kecil seperti tanah liat dan debu.
- b. Melompat, ialah suatu proses pengangkutan partikel sedimen dalam sungai yang berukuran lebih besar, contohnya pasir.
- c. Menggelinding, yaitu partikel sedimen yang bergerak dengan cara bergulir didasar sungai dan memiliki ukuran partikel yang lebih besar dari pasir, contohnya kerikil (*gravel*).

Sedimen yang terdapat dalam perairan sungai memiliki dua jenis, yaitu sedimen melayang (*Suspended Load*) yaitu sedimen yang berukuran kecil seperti debu. Sedimen dasar (*Bed Load*) yaitu sedimen yang berukuran lebih besar seperti pasir, kerikil dan lain sebagainya (Rahayu, 2009). Menurut Perry dan Taylor (2007), Sedimen sungai merupakan hasil dari sebuah proses sedimentasi yang berasal hasil pelapukan batuan dasar maupun yang berasal dari proses erosi, bahan organik, partikel atau senyawa antropogenik (limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia).

Permasalahan yang timbul pada sedimen sungai adalah kehadiran bahan (zat) yang bersifat membahayakan lingkungan (polutan). Polutan yang berasal dari antropogenik merupakan sumber polutan yang dominan pada sedimen sungai, seperti kegiatan penggunaan lahan (perkotaan dan pedesaan) yang berada di sekitar sungai, pembuangan limbah industri, limbah rumah tangga, limbah pertambangan maupun limbah pertanian. Apabila akumulasi logam berat di sedimen terangkut kembali ke permukaan air, maka hal ini akan mengakibatkan

penurunan kualitas air sungai sehingga sungai tidak dapat digunakan sesuai peruntukannya. Logam berat yang ada pada perairan lama-kelamaan akan turun dan mengendap pada dasar perairan membentuk sedimen (Erlanda, 2012).

Menurut Rochyatun dan Rozak (2007), Kandungan logam berat dalam sedimen cenderung tinggi dibandingkan dengan kandungan logam berat yang terdapat pada air sungai, sehingga sedimen dijadikan indikator yang penting untuk melihat pencemaran sungai yang diakibatkan logam berat. Terdapat beberapa mekanisme masuknya logam ke dalam sedimen: yaitu interaksi antara gugus fungsi –OH dengan logam, kemudian mengalami pertukaran ion dengan sedimen dan terjadilah suatu interaksi elektrostatis (Hamdan A.M. Dkk, 2019). Terbentuknya senyawa kimia dalam sedimen disebabkan oleh reaksi oksidasi-reduksi. Selain dari itu, proses fisik-kimia lainnya seperti adsorpsi dan desorpsi akan mempengaruhi komposisi kimia sedimen dan lapisan air diatas sedimen akibat interaksi air dan sedimen.

2.7.4 Metode Penilaian Kualitas Sedimen Sungai

Metode yang biasa digunakan untuk menilai kualitas lingkungan berbasis kandungan logam berat dalam sedimen antara lain: Faktor Kontaminasi (CF/ *Contamination Factor*), Indeks Beban Pencemaran (PLI/ *Pollution Load Index*) dan Indeks Geoakumulasi (I_g / *Geoaccumulation Index*). Indeks Geoakumulasi (I_g) dapat menggambarkan pengkayaan konsentrasi logam berat diatas *baseline* level atau tingkatan nilai dasar. Persamaan 2.3 menunjukkan perhitungan I_g (Ngkoimani dkk, 2019).

$$I_g = \ln \frac{2K_n}{3B_n} \quad (2.3)$$

Dengan K_n adalah Konsentrasi logam X dalam contoh/sampel (mg/kg), dan B_n adalah Konsentrasi logam X di *background* (mg/kg). Kriteria pencemaran I_g ditunjukkan didalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kriteria tingkat pencemaran (I_g)

Nilai I_g	Tingkat Pencemaran	Keterangan
<0	TC	Tidak tercemar
0-1	R	Ringan
1-2	S	Sedang
2-3	C	Cukup
3-4	P	Parah
4-5	SC	Sangat tercemar
>5	LBC	Luar biasa tercemar

Sumber: Rabee dkk, (2011)

2.8 Sungai Krueng Aceh

Sungai Krueng Aceh merupakan sungai yang sangat penting untuk masyarakat di Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh untuk memenuhi berbagai kebutuhan hidupnya. Sungai Krueng Aceh berhulu di pergunungan Aceh Besar di wilayah Jantho dan bermuara ke pesisir Banda Aceh di Gampong Jawa dengan panjangnya mencapai ± 145 kilometer. Pada masa Kerajaan Aceh Darussalam, Sungai Krueng Aceh pernah sangat sibuk sebagai jalur masuk dan keluar kapal-kapal dagang. Dari sungai inilah berbagai rempah-rempah Aceh dibawa keluar untuk diperdagangkan ke pasar Internasional. Maka tak heran bila sungai Krueng Aceh ini memiliki arti khusus bagi masyarakat Aceh (Rezeki, 2019).

Sungai Krueng Aceh merupakan sungai yang memiliki debit yang besar, oleh karena itu Sungai Krueng Aceh memiliki potensi sumber daya air yang melimpah untuk memenuhi kebutuhan sumber daya air bagi penduduk di Kabupaten Aceh Besar dan warga Kota Banda Aceh, diantaranya untuk memenuhi kebutuhan air bersih (kebutuhan sehari-hari) dan air untuk irigasi (Tanjung, 2016). Sungai Krueng Aceh memiliki beberapa sub DAS seperti Krueng Seulimum, Krueng Jreue, Krueng Keumireu, Krueng Inong, Krueng Leungpaga, dan Krueng Daroy (Rezeki, 2019). Sungai Krueng Aceh mengalir disepanjang Kota Banda Aceh melintasi wilayah pasar dan pemukiman padat penduduk. Disepanjang Sungai dijumpai banyak aktivitas masyarakat, antara lain:

Industri, kegiatan pembangkit listrik, hotel, pasar, perumahan padat penduduk, dan industri rumah tangga. Hampir semua kegiatan tersebut menghasilkan limbah domestik yang dibuang ke sungai yang ada di Kota Banda Aceh (DAI, 2006).

2.9 Kondisi Geologi Sungai Krueng Aceh

Fisiografi Aceh Besar dan sekitarnya, tertata sebagai wilayah dataran aluvium bergelombang hingga dataran rendah pantai yang membentang dengan arah hampir barat laut tenggara dan semakin ke selatan makin tinggi. Moechtar dkk, (2009) menyatakan wilayah tersebut sebagai cekungan Krueng Aceh atau Lembah Krueng Aceh. Disebelah barat dibatasi oleh Sesar Sumatra yang disebut sebagai Sesar Aceh atau termasuk Segmen Sesar Krueng Aceh. Daerah ini berada di kaki pergunungan kompleks Bukit Barisan yang tersusun oleh batuan Tersier dan Pratersier. Dibagian timur, cekungan Kuarter ini dibatasi oleh perbukitan yang tersusun oleh batuan Plio-Plistosen yang berasal dari Gunung Api Seulawah.

Menurut peta geologi lembar Banda Aceh (Bennet dkk, 1983) dan Lhokseumawe (Keats dkk, 1981) skala 1:250.000, formasi batuan di wilayah kabupaten ini dibedakan atas formasi batuan berumur Kuarter, Tersier dan Pra-Tersier. Jenis batumannya digolongkan ke dalam endapan permukaan, batuan sedimen, metamorfik, dan vulkanis. Endapan permukaan terdiri atas endapan sungai, rawa dan pantai, bersusunan liat, debu, pasir dan kerikil kemudian endapan teras sungai, bersusunan pasir dan kerikil mampat. Batuan sedimen terdiri atas: Batu pasir, batu pasir tufaan, batu pasir gampingan, konglomerat, batu liat tufa, serpih, dan batu gamping. Batuan metamorfik terdiri atas: Filit, batu sabak, dan batu gamping malihan. Sedangkan Batuan vulkan Kuarter dan Tersier, terdiri atas abu, tuf, lava, aglomerat, breksi, breksi berbatu apung, aliran lahar dan lava, yang bersifat andesit sampai dasit, dan andesit sampai basalt dan batuan intrusi granodiorit, diorit dan ultrabasa.

2.10 Definisi Batuan

Menurut Djauhari (2012), batuan merupakan salah satu komponen penyusun lapisan luar (kerak) bumi, yang tersusun dari beberapa jenis mineral. Mineral merupakan suatu zat padat anorganik dengan proses pembentukan di alam serta memiliki komposisi kimia dan susunan atomnya teratur (Djauhari, 2012). Berdasarkan dari sejarah pembentukan Bumi, diperoleh gambaran bahwa pada awalnya seluruh bagian luar dari Bumi ini terdiri dari batuan beku. Sejalan dengan perkembangan waktu serta perubahan keadaan, maka terjadilah perubahan yang disertai dengan pembentukan kelompok-kelompok batuan yang lainnya. Proses perubahan dari satu kelompok batuan ke kelompok lainnya merupakan suatu siklus yang dinamakan “daur batuan”. Sehingga dengan proses daur ulang ini dapat diurut menjadi proses geologi dalam mengubah kelompok batuan yang satu ke lainnya. Dalam proses daur ulang batuan, batuan beku dapat terbentuk dari proses pendinginan magma dan pembekuan magma gunung berapi.

Proses pendinginan magma gunung berapi yang berupa lelehan silikat akan diikuti pula oleh proses penghabluran yang berlangsung dibawah atau diatas permukaan bumi melalui erupsi gunung berapi. Apabila hasil erupsi gunung berapi tersebut kemudian terangkut ke permukaan, maka akan berinteraksi dengan atmosfer dan hidrosfer, yang akan menyebabkan terjadinya proses pelapukan. Melalui proses ini batuan akan mengalami penghancuran, kemudian batuan yang telah dihancurkan akan transportasi dari suatu tempat ke tempat lain akibat dari air yang mengalir diatas dan dibawah permukaan, efek dari angin yang bertiup, gelombang dipantai dan gletser di pergunungan yang tinggi. Media pengangkut tersebut juga dikenal sebagai alat pengikis, yang dalam prosesnya berupaya untuk meratakan permukaan bumi. Material material yang telah terangkut kemudian akan diendapkan ditempat-tempat tertentu menjadi sedimen (Djauhari, 2012). Kemudian proses selanjutnya ialah terjadinya perubahan dari sedimen yang bersifat lepas, menjadi batuan yang keras, melalui pembebanan dan perekatan oleh senyawa mineral dalam larutan, dan kemudian disebut batuan sedimen. Dan apabila pada batuan sedimen ini terjadi peningkatan tekanan dan suhu sebagai akibat dari penimbunan dan/atau terlibat dalam proses pembentukan pegunungan,

maka batuan sedimen tersebut akan mengalami perubahan untuk menyesuaikan dengan lingkungan yang baru, dan terbentuk batuan malihan atau batuan metamorfis. apabila batuan metamorfis ini masih mengalami peningkatan tekanan dan suhu, maka ia akan kembali leleh dan berubah menjadi magma (Djauhari, 2012).

2.11 Logam Berat

2.11.1 Pengertian Logam Berat

Logam berat merupakan logam yang memiliki berat lebih besar dan memiliki unsur dengan densitas lebih besar dari 5 gr/cm^3 , serta memiliki nomor atom lebih besar dari 21. Logam berat memiliki karakter berkilau, lunak, logam berat juga dapat menjadi konduktor dan bersifat kimiawi (Connel dan Miller, 1995). Logam berat dibagi menjadi dua jenis yaitu (Widowati, 2008):

1. Logam berat esensial merupakan logam dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup. Namun, logam-logam ini dengan jumlah berlebih juga dapat menimbulkan toksik/racun yang dapat mengancam makhluk hidup. Contohnya: Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dan lain-lain.
2. Logam berat tidak esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya, bahkan bersifat racun. Contohnya: Hg, Cd, Pb, Cr, dan lain-lain.

Logam berat dapat mencemari lingkungan, baik udara, air, maupun tanah. Sumber pencemaran dapat berasal dari proses alami (litogenik) dan kegiatan manusia (antropogenik). Proses alami dapat berasal dari bebatuan gunung berapi yang memberikan kontribusi ke lingkungan udara, air, dan tanah. Kegiatan manusia yang bisa menambah pencemaran lingkungan berupa kegiatan industri, pertambangan, pembakaran bahan bakar, serta kegiatan domestik lain yang mampu meningkatkan kandungan logam di lingkungan udara, air, dan tanah. Logam berat merupakan bahan pencemar yang berbahaya, karena logam berat tidak dapat dihancurkan (*non degradable*) oleh organisme hidup di lingkungan (Rochyatun dan Rozak, 2007).

2.11.2 Pencemaran dan Dampak Logam Berat

Pencemaran adalah proses masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam badan perairan oleh suatu kegiatan manusia sehingga mengakibatkan kualitas perairan menurun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan hidup tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya (Undang-Undang Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 23/1997). Salah satu bahan pencemar yang dikhawatirkan keberadaannya adalah bahan polutan logam berat. Logam berat berasal dari dua sumber yang berbeda yaitu sumber dari alam (litogenik) seperti gunung merapi, sungai dekomposisi organik, retakan, patahan dan sedimen serta bersumber dari aktivitas manusia (antropogenik) yaitu dari limbah industri dan limbah domestik atau buangan penduduk (Geyer, 1981). Pencemaran mempunyai beberapa makna, yaitu Perubahan-perubahan sifat fisik, kimia, dan biologi yang tidak dikehendaki pada lingkungan udara, tanah, dan air. Perubahan tersebut dapat menimbulkan bahaya bagi kehidupan manusia atau spesies-spesies makhluk hidup, proses-proses industri, tempat tinggal, dan peninggalan-peninggalan kebudayaan, atau dapat merusak sumber bahan mentah (Odum, 1971). Menurut Saeni (1989), zat pencemar ialah zat yang mempunyai pengaruh menurunkan kualitas lingkungan, atau menurunkan nilai lingkungan.

Salah satu faktor utama yang banyak dijumpai dari adanya pencemaran logam berat adalah akibat dari pembuangan sampah-sampah atau limbah ke badan air secara berlebihan. Hal ini dapat terjadi melalui tiga cara yaitu: Pertama, akibat dari pembuangan sisa industri yang tidak terkontrol. Kedua, berasal dari lumpur minyak yang kadang-kadang mengandung logam berat dengan konsentrasi tinggi yang terbuang ke laut. Ketiga, berasal dari pembakaran hidrokarbon atau batu bara di daratan yang melepaskan logam berat ke udara kemudian bercampur dengan air hujan dan akhirnya sampai ke perairan (Hutabarat dan Evans, 1985). Logam berat yang terdapat pada badan air dengan konsentrasi tertentu dapat menjadi toksik (racun) untuk ekosistem air. walaupun tingkat toksisitas yang ditimbulkan oleh logam berat tidak sama untuk semua biota air, namun toksisitas tersebut dapat

mengakibatkan terputusnya satu mata rantai kehidupan biota air sehingga dapat merusak semua ekosistem perairan (Palar, 1994).

Keberadaan logam berat diperairan dapat menyebabkan penurunan kualitas air serta membahayakan lingkungan dan organisme akuatik. Dampak yang ditimbulkan bagi organisme akuatik yaitu terganggunya metabolisme tubuh akibat terhalangnya kerja enzim dalam proses fisiologis. Logam berat dapat menumpuk dalam tubuh dan bersifat kronis yang akhirnya mengakibatkan kematian organisme akuatik (Upit dkk, 2011). Selain menurunkan kualitas air, logam berat juga dapat mempengaruhi sumber daya hayati perairan, hal ini dikarenakan logam berat bersifat akumulatif pada biota air (Imanudin, 2012). Menurut Darmono (1995), akumulasi terjadi karena proses absorpsi logam berat ke dalam tubuh melalui saluran pernafasan dan pencernaan. Logam berat akan terakumulasi dalam jaringan tubuh bahkan menyebabkan kematian terhadap organisme tersebut.

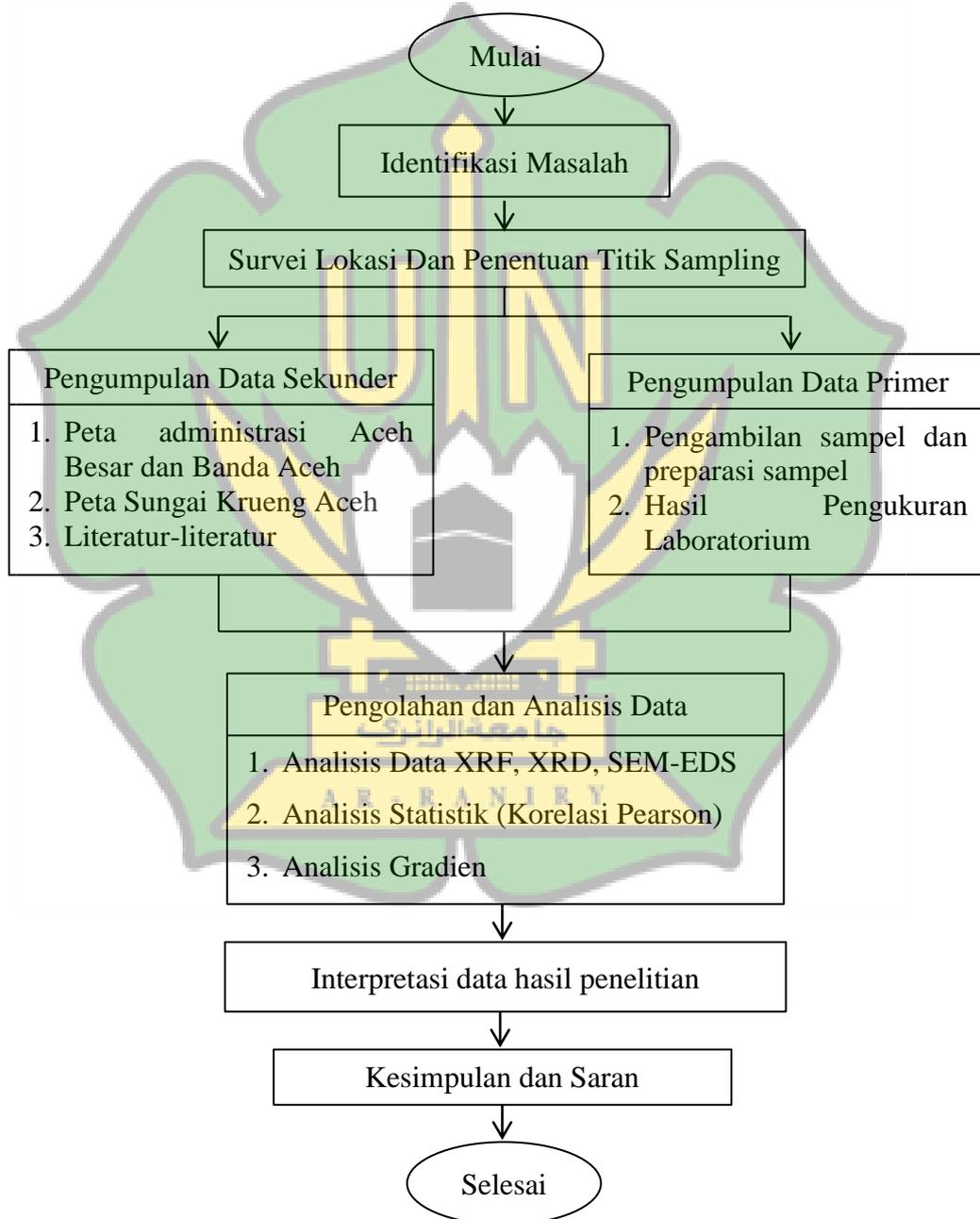
Selain dari itu, Pencemaran logam berat juga dapat merusak lingkungan perairan dalam aspek stabilitas dan keanekaragaman ekosistem perairan. Dari aspek ekologis, kerusakan ekosistem perairan akibat pencemaran logam berat dapat ditentukan oleh faktor kadar dan kesinambungan zat pencemar yang masuk ke dalam perairan, sifat toksisitas dan bioakumulasi. Pencemaran logam berat dapat menyebabkan terjadinya perubahan struktur komunitas perairan, jaringan makanan, tingkah laku, efek fisiologi, genetik dan resistensi (Racmansyah dkk, 1998). Logam Pb juga bersifat toksik pada hewan dan manusia karena dapat terakumulasi pada tulang, serta dapat menyebabkan keracunan akut dan kronis. Keracunan akut biasanya ditandai dengan rasa terbakar pada mulut, adanya rangsangan pada sistem gastrointestinal yang disertai dengan diare. Gejala kronis umumnya ditandai dengan mual, anemia, sakit di sekitar mulut, dan dapat menyebabkan kelumpuhan (Darmono, 2001).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Pelaksanaan Tugas Akhir ini memiliki proses yang dituangkan dalam bagan alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 8 bulan, yaitu dimulai dari bulan November 2019 hingga bulan Juni 2020 (Lampiran 5). Persiapan sampel dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Kemudian pengukuran kandungan logam berat (XRF), mineralogi (XRD), morfologi bulir dalam sampel (SEM-EDS) akan dilakukan di Laboratorium Hidrogeologi dan Hidrogeokimia Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung (ITB). Sedangkan pengukuran nilai Suseptibilitas Magnetik akan dilakukan di Laboratorium Karakterisasi dan Pemodelan Sifat Fisis Batuan (LKPSFB) Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat.

3.3 Data Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini ialah data primer dan data sekunder, data primer ialah data yang diperoleh dari hasil penelitian atau diperoleh secara langsung oleh peneliti. Sedangkan data sekunder ialah data yang diperoleh dari instansi terkait dan literatur-literatur ilmiah lainnya. Data yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1:

Tabel 3.1 Data Primer dan Sekunder

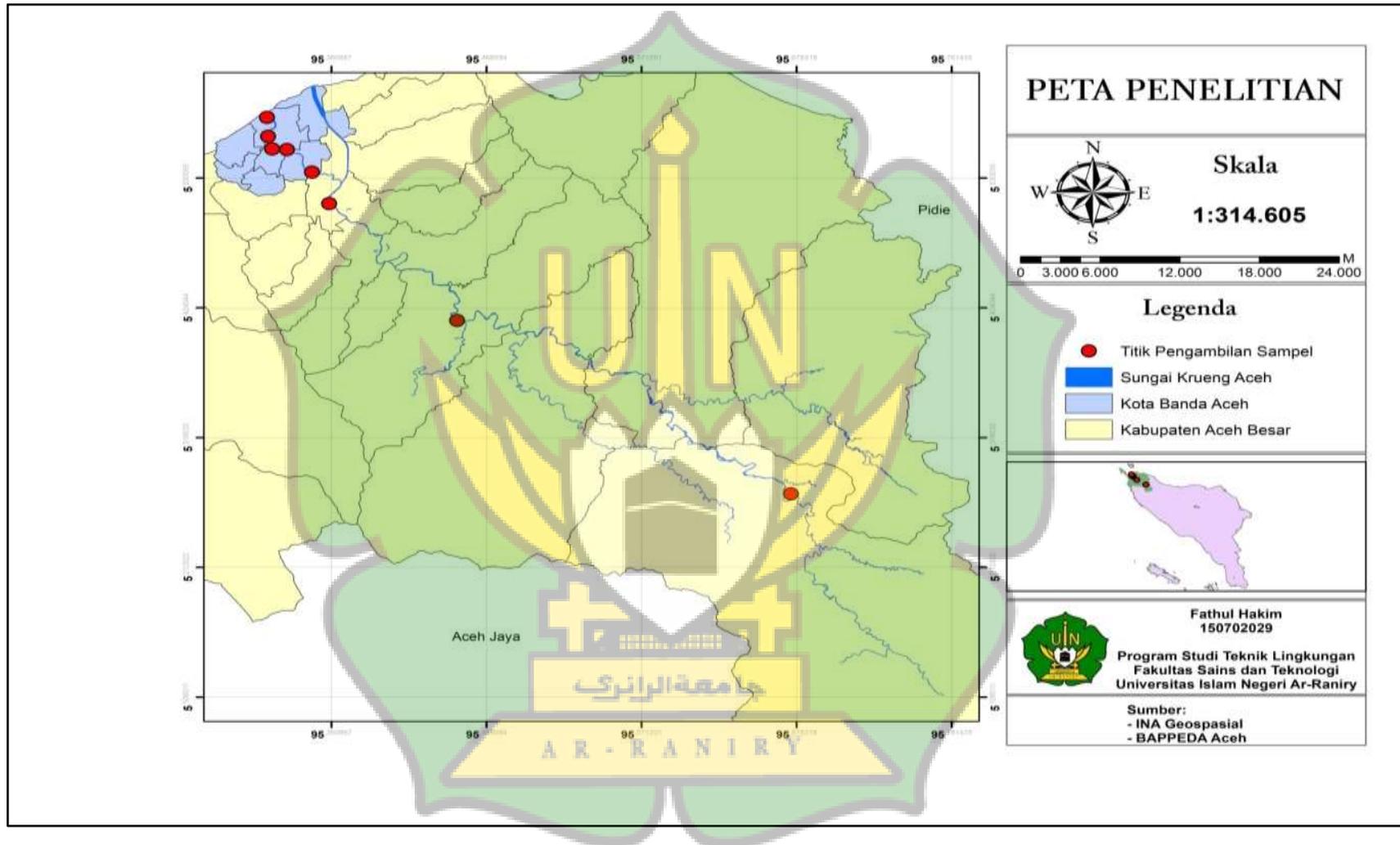
No	Jenis Data	Sumber Data
Data Primer		
1	Hasil uji logam berat (XRF)	Laboratorium Hidrogeologi dan Hidrogeokimia ITB
	Hasil uji mineralogi (XRD)	
	Hasil SEM-EDS	
	Hasil uji suseptibilitas magnetik	Laboratorium Laboratorium Karakterisasi dan Pemodelan Sifat Fisis Batuan ITB
	Data kondisi eksisting Sungai	Observasi Lapangan
Sekunder		
2	Peta Lokasi	Bappeda Banda Aceh
	Literatur-literatur	Karya Ilmiah

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Penentuan Lokasi Penelitian

Pada tahap ini, peneliti melakukan observasi pada lokasi penelitian untuk menentukan stasiun pengambilan sampel, Penentuan titik *sampling* digunakan dengan menggunakan metode *purposive sampling* (Fachrul, 2007). Lokasi pengambilan sampel sedimen terdiri atas delapan titik *sampling* yang ditunjukkan di dalam peta pada Gambar 3.2. Koordinat titik tersebut adalah sebagai berikut:

1. Titik 1 diambil pada hulu Sungai Krueng Aceh yang berlokasi di pergunungan Aceh Besar pada kawasan Jantho dengan titik koordinat $5^{\circ}16'19.81''\text{U}$, $95^{\circ}40'20.87''\text{T}$. Lokasi ini dijadikan sebagai titik kontrol atau *background*.
2. Titik 2 diambil di kawasan Indrapuri Aceh Besar dengan titik koordinat $5^{\circ}24'49.34''$, $95^{\circ}26'45.83''\text{T}$. Lokasi ini merupakan lokasi setelah adanya berbagai galian C yang berpotensi mencemari lingkungan.
3. Titik 3 diambil di kawasan Lambaro Cafe Aceh Besar dengan titik koordinat $5^{\circ}30'33.24''\text{U}$, $95^{\circ}21'33.86''\text{T}$. Titik ini merupakan lokasi sebelum terjadinya percabangan Sungai Krueng Aceh.
4. Titik 4 diambil di kawasan Pango Raya dengan titik koordinat $5^{\circ}32'5.40''\text{U}$, $95^{\circ}20'52.05''\text{T}$. titik lokasi ini ialah lokasi setelah terjadinya percabangan Sungai Krueng Aceh.
5. Titik 5 diambil di kawasan Beurawe Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}33'12.36''\text{U}$, $95^{\circ}19'50.78''\text{T}$. Lokasi ini merupakan kawasan padat penduduk dan memasuki area perkotaan.
6. Titik 6 diambil di kawasan Kuta Alam Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}33'13.99''\text{U}$, $95^{\circ}19'14.41''\text{T}$. Lokasi ini terdapat anak sungai yang dapat mempengaruhi akumulasi air dan sedimen.
7. Titik 7 diambil di kawasan Peunayong Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}33'50.88''\text{U}$, $95^{\circ}19'4.72''\text{T}$. Pada lokasi ini banyak aktivitas kapal, berdekatan dengan pasar dan padat aktivitas manusia lainnya.
8. Titik 8 diambil di kawasan Gampong Jawa Kota Banda Aceh dengan titik koordinat $5^{\circ}34'47.11''\text{U}$, $95^{\circ}19'2.01''\text{T}$. lokasi ini muara Krueng Aceh.



Gambar 3.2 Peta Lokasi Pengambilan Sampel Sedimen pada Sungai Krueng Aceh

3.4.2 Pengambilan Sampel Sedimen

Metode pengambilan sampel sedimen Sungai Krueng Aceh dilakukan berdasarkan metode dari EPA-Ohio (2001), dengan alat yang digunakan adalah *Sediment Grab*, langkah pengambilan sampel seperti berikut; (1) Sampel sedimen diambil dengan menggunakan alat *sediment grab* di dasar Sungai Krueng Aceh, (2) Selanjutnya *sediment grab* diturunkan ke dasar sungai menggunakan tali, (3) Setelah sampel sedimen diambil, sampel dimasukkan ke dalam wadah plastik yang telah disediakan, (4) Setelah itu, wadah plastik yang telah terisi sampel sedimen diberi label (Tanggal, waktu pengambilan, lokasi pengambilan dan nomor sampel).



Gambar 3.3 Alat *Sediment Grab*
Sumber: Dokumentasi Penelitian



Gambar 3.4 (a) *Sediment Grab* diturunkan, (b) Sampel sedimen dikemas
Sumber: Dokumentasi Penelitian

3.4.3 Preparasi Sampel Sedimen

Preparasi sampel sedimen dilakukan dengan langkah seperti berikut (Hamdan dkk., 2019); (1) Sampel sedimen diletakkan pada wadah plastik dan dikeringkan dalam suhu ruang, (2) Untuk pengukuran suseptibilitas magnetik, sampel disaring dengan saringan 40 mesh. Kemudian sampel dimasukkan kedalam *holder*, (3) Untuk pengukuran mineralogi dan SEM-EDS, sampel diekstraksi dengan cara dimasukkan besi magnet ke dalam gelas kimia yang telah terisi air dan sampel sedimen kemudian diputar secara manual untuk menarik partikel magnetik yang terkandung dalam sampel. (4) Untuk pengukuran kimia, sampel digerus dengan alu dan mortar hingga berukuran 40 *mesh*. Kemudian sampel dikemas dan diberi label.



Gambar 3.5 (a) Proses Pengeringan Sampel Sedimen, (b) proses penyaringan sampel sedimen, (c) Proses ekstraksi sedimen untuk pengukuran XRD dan SEM-EDS, (d) Sampel Sedimen dikemas dan diberi label

Sumber: Dokumentasi Penelitian

3.4.4 Analisis Sifat Magnetik

Sampel sedimen Sungai Krueng Aceh diukur dengan peralatan Bartington dengan menggunakan sensor MS2B (*Magnetic Susceptibility System sensor B*). Pengukuran dilakukan menggunakan dua frekuensi, yaitu frekuensi rendah (χ_{LF}) 47 kHz dan frekuensi tinggi (χ_{HF}) 470 kHz. Pengukuran ini dimaksudkan untuk menghasilkan suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi $\chi_{FD}(\%)$. Rangkaian pengukuran suseptibilitas magnetik dilakukan di Laboratorium Karakterisasi batuan Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan ITB (Institut Teknologi Bandung). Rangkaian alat pengukuran sifat magnetik ditunjukkan pada Gambar 3.6 (Jahidin dkk., 2011).



Gambar 3.6 Instrumen pengukuran Suseptibilitas Magnetik (a) Bartington MS2B (b) Perangkat komputer yang terhubung ke Bartington MS2B

Sampel sedimen Sungai Krueng Aceh kemudian dimasukkan kedalam *holder* sampel yang berukuran diameter 2,4 cm dan tinggi 2,3 cm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Holder* wadah sampel (a) *holder* kosong (b) *holder* yang terisi sampel (c) Sampel sedimen dalam *holder* dikemas dalam plastik

Sumber: Dokumentasi Penelitian

Pengukuran dimulai dengan menempatkan *holder* sampel ke dalam alat Bartington, untuk satu sampel pengukuran dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan. Langkah pertama yaitu membuka aplikasi Multisus, lalu dikalibrasi aplikasi sesuai dengan pengaturan pada alat dan lakukan pengukuran dengan terlebih dahulu mengecek nilai *first air* dengan toleransi nilai ± 1 . Setelah itu sampel diletakkan pada alat dan dilihat nilainya lalu angkat kembali sampel dan cek nilai *last air* nya, setelah itu akan terlihat nilai dari susceptibilitas magnetiknya. Dikarenakan pada metode ini dilakukan dengan menggunakan *mass specific low frequency* dan *high frequency*, maka diutamakan pengukuran dimulai dengan *low frequency* untuk semua sampel dan jika telah selesai dilakukan pengukuran untuk *high frequency*.

3.4.5 Analisis Kimia dan Fisika

Analisis unsur di dalam sampel dilakukan dengan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF). Sampel hasil ekstraksi dipreparasi dengan metode *press pellet*. Instrumen yang digunakan adalah *PAN Alytical AXIOS X-Ray Fluorescence*. Sampel ekstraksi juga dianalisa mineraloginya dengan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan Instrumen *Rigaku-Smart Lab X-Ray Diffractometer*. Pengamatan morfologi pada sedimen menggunakan metode *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang dikombinasikan dengan analisa *Energy-dispersive X-ray spectroscopy* (EDS). Bulir yang dianalisa adalah sampel ekstraksi. Untuk memetakan unsur digunakan teknik *point* dan *mapping* dengan Instrumen SEM EVO® MA (Bijaksana, 2011).

3.4.6 Analisis Statistik

SPSS (*Statistical product for service solutions*) ialah suatu program komputer untuk menganalisis statistik serta mampu memproses data statistik secara cepat dan akurat. SPSS merupakan program yang sangat populer karena memiliki bentuk pelaporan hasil yang cukup baik seperti hasil yang berbentuk grafik maupun tabel, bersifat dinamis serta mudah dihubungkan dengan aplikasi lain. SPSS sangat membantu dalam memecahkan permasalahan-permasalahan

dalam bidang keilmuan, terutama dalam analisis statistik dan pengolahan data statistik (Hasyim, 2018 dan Zein 2019).

3.4.7 Analisis korelasi (*Pearson correlations*)

Pearson Correlation merupakan suatu metode uji statistik yang dapat digunakan untuk menguji dugaan tentang adanya hubungan antara variabel satu dengan variabel yang lainnya. Uji korelasi juga dimaksudkan untuk melihat hubungan dari dua hasil pengukuran atau dua variabel yang diteliti, sehingga diperoleh derajat hubungan antara variabel X dengan variabel Y (Jainudin, 2016). Ada dua cara pengambilan keputusan dalam analisis korelasi yaitu: (i) Berdasarkan nilai signifikansi. Jika nilai signifikansi $<0,05$ maka terdapat korelasi, sebaliknya jika nilai signifikansi $>0,05$ maka tidak terdapat korelasi. (ii) Berdasarkan tanda bintang (**). Jika terdapat tanda bintang pada *pearson correlation* maka antara variabel yang dianalisis terjadi korelasi, sebaliknya jika tidak terdapat tanda bintang pada *pearson correlation* maka antara variabel yang dianalisis tidak terjadi korelasi. Selain dengan menggunakan aplikasi SPSS, untuk menentukan nilai korelasi juga dapat diukur dengan menggunakan persamaan berikut:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (3.1)$$

Dimana r_{xy} adalah koefisien korelasi, $\sum x$ adalah jumlah data x dan $\sum y$ adalah jumlah data y.

3.4.8 Analisis Pencemaran Logam Berat

Analisis kandungan logam berat dilakukan secara deskriptif dengan menghitung tingkat pencemaran logam berat di perairan Sungai Krueng Aceh. Proses Pengolahan data hasil pengukuran dilakukan menggunakan *Microsoft Excel 2010*. Setiap data hasil pengukuran XRF selanjutnya dianalisis menggunakan metode Indeks Geoakumulasi (Ig). Metode indeks geoakumulasi dapat memberi informasi terkait pengayaan logam berat diatas *baseline level* atau

tingkatan nilai dasar (Ngkoimani dkk, 2019). Untuk menganalisis indeks geoakumulasi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_g = \ln \frac{2K_n}{3B_n} \quad (3.2)$$

Dimana K_n adalah Konsentrasi logam X dalam contoh/sampel (mg/kg), dan B_n adalah Konsentrasi logam X di *background* (mg/kg).

3.4.9 Pengolahan Data

Analisis data merupakan salah satu proses paling penting dalam sebuah eksperimen. Hal ini dikarenakan dalam melakukan analisis data, peneliti perlu melakukan pengolahan agar bisa diterjemahkan dalam hasil yang sesuai dengan kaidah ilmiah dan mudah dipahami oleh khalayak. Maka dari itu, perlu daya kreatifitas dan kemampuan analisa yang tinggi agar mendapat hasil yang memuaskan. Analisis data berasal dari hasil pengumpulan data. Oleh karena itu, analisis data dalam eksperimen ini berfungsi untuk memberi nilai, arti dan makna yang terkandung dalam data itu sendiri. Proses pengolahan data analisis dilakukan dengan menggunakan beberapa aplikasi seperti *Microsoft Word* untuk pelaporan hasil, *Microsoft Excel* untuk analisis data, *Power Point* untuk pelaporan hasil, aplikasi *QualX* untuk analisis mineralogi, *Photoshop* untuk mengolah gambar, aplikasi *SPSS* untuk analisis statistik, dan aplikasi *ArcGIS* untuk mengolah peta lokasi pengambilan sampel.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

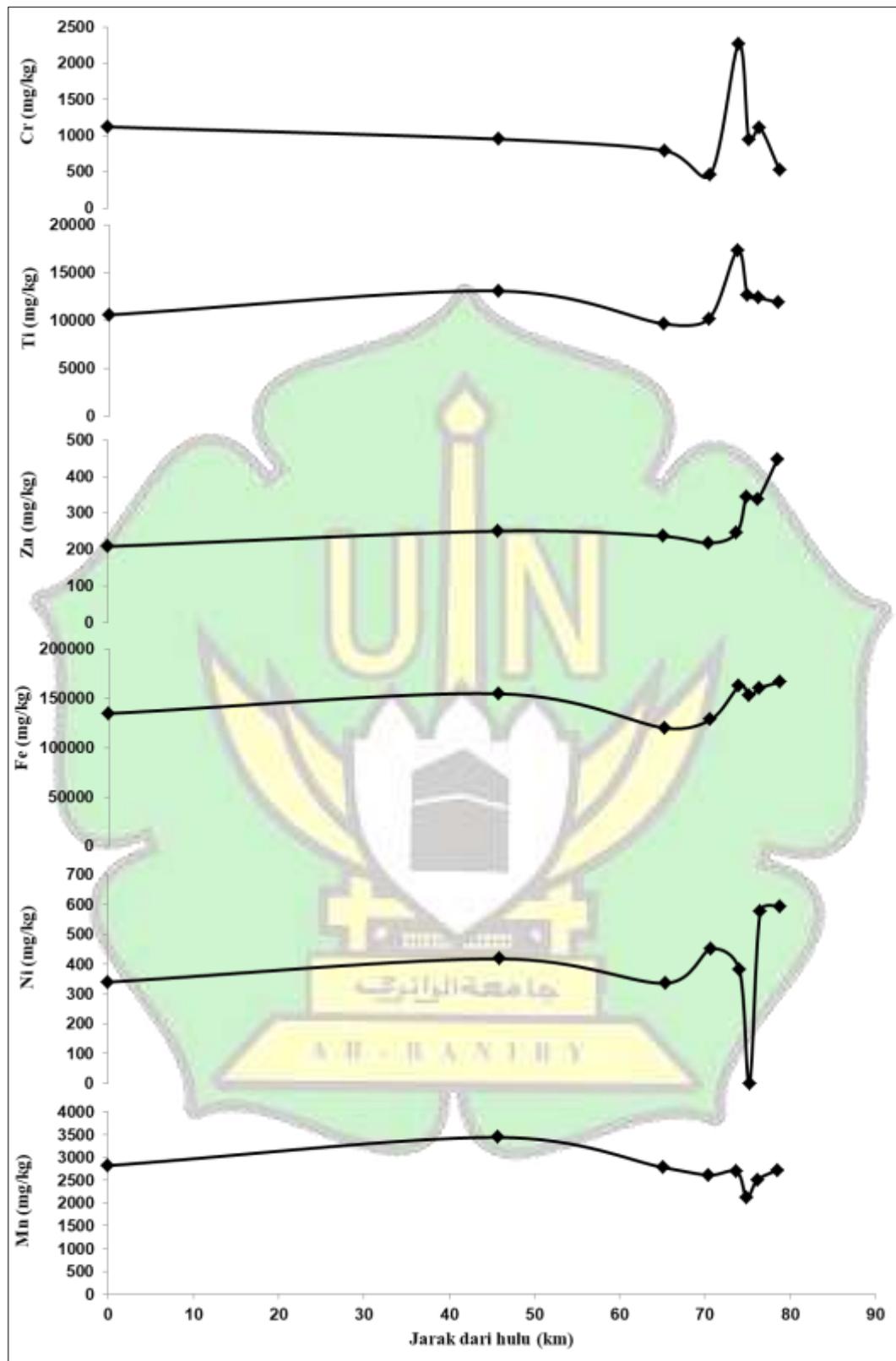
Hasil penelitian terdiri dari hasil analisis kimia, analisis mineralogi, analisis sifat magnetik, analisis SEM-EDS, analisis korelasi Pearson, analisis indeks geoakumulasi, dan analisis gradien.

4.1.1 Hasil Analisis Kimia

Berdasarkan hasil pengukuran kimia diketahui konsentrasi logam-logam yang terkandung dalam sampel sedimen Sungai Krueng Aceh yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Berdasarkan Tabel 4.1 diperoleh grafik distribusi setiap logam dari hulu hingga hilir sungai yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Konsentrasi logam Kromium (Cr), Titanium (Ti), Mangan (Mn), Besi (Fe), Zink (Zn), Nikel (Ni) pada masing-masing sampel sedimen Sungai Krueng Aceh.

Kode Sampel	Koordinat	Konsentrasi Logam (mg/kg)					
		Cr	Ti	Mn	Fe	Zn	Ni
T1	5°16'19.81"U 95°40'20.87"T	1,120	10,600	2,820	135,000	209	340
T2	5°24'49.34"U 95°26'45.83"T	950	13,100	3,440	155,000	251	418
T3	5°30'33.24"U 95°21'33.86"T	790	9,660	2,780	120,000	237	336
T4	5°32'5.40"U 95°20'52.05"T	460	10,200	2,610	129,000	218	451
T5	5°33'12.36"U 95°19'50.78"T	2,260	17,300	2,690	163,000	246	381
T6	5°33'13.99"U 95°19'14.41"T	940	12,700	2,120	153,000	345	000
T7	5°33'50.88"U 95°19'4.72"T	1,110	12,400	2,510	161,000	338	578
T8	°34'47.11"U 95°19'2.01"T	521	11,900	2,720	167,000	447	593
Rata-rata		1,019	12,233	2,711	147,875	286	387



Gambar 4.1 Grafik distribusi konsentrasi logam Cr, Ni, Fe, Ti, Zn dan Mn pada lokasi sampling Sungai Krueng Aceh.

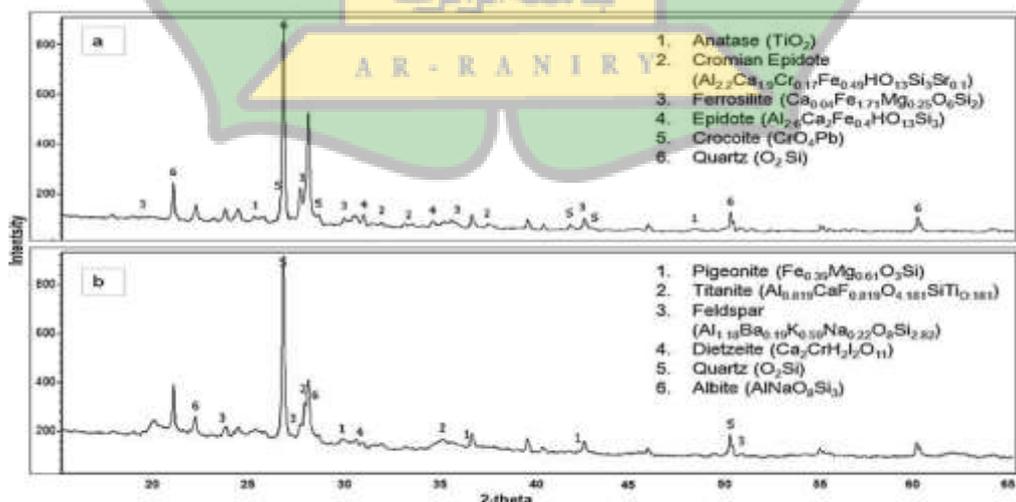
4.1.2 Hasil Analisis Mineralogi

Berdasarkan hasil pengukuran *X-Ray Diffraction* diperoleh beberapa kandungan mineral yang terdapat dalam sampel sedimen Sungai Krueng Aceh seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran *X-Ray Diffraction* pada hulu dan hilir Sungai Krueng Aceh. Sampel di hulu dan di hilir masing-masing sampel dari titik 1 dan titik 8.

Lokasi	Mineral	Formula
Hulu	Quartz	O_2, Si
	Cromian Epidote	$Al_{2.2}, Ca_{1.9}, Cr_{0.17}, Fe_{0.49}, H, O_{13}, Si_3, Sr_{0.1}$
	Anatase	Ti, O_2
	Ferrosilite	$Ca_{0.04}, Fe_{1.71}, Mg_{0.25}, O_6, Si_2$
	Epidote	$Al_{2.17}, Ca_2, Fe_{0.81}, H, O_{13}, Si_3$
	Crocoite	Cr, O_2, Pb
Hilir	Quartz	O_2, Si
	Feldspar	$Al_{1.18}, Ba_{0.19}, K_{0.59}, Na_{0.22}, O_8, Si_{2.82}$
	Titanite	Al, Ca, F, O_4, Si
	Pigeonite	$Fe_{0.39}, Mg_{0.61}, O_3, Si$
	Albite	Al, Na, O_8, Si_3
	Dietzeite	$Ca_2, Cr, H_2, I_2, O_{11}$

Spektrum difraktogram pada masing-masing sampel sedimen Sungai Krueng Aceh ditunjukkan pada Gambar 4.2. Spektrum difraktogram mengindikasikan mineral-mineral yang terdapat didalam sampel yang dianalisis.



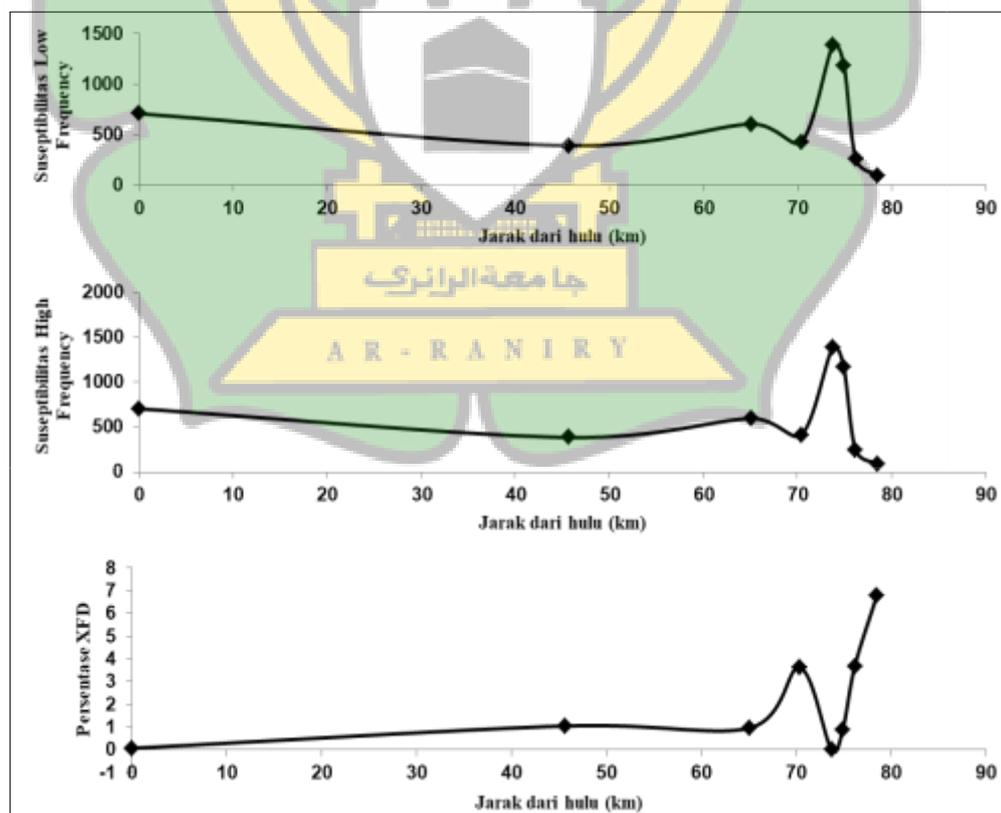
Gambar 4.2 Kurva difraktogram hasil pengukuran XRD (a) hulu sungai (Titik 1) (b) hilir sungai (Titik 8).

4.1.3 Hasil Pengukuran Magnetik

Berdasarkan hasil pengukuran suseptibilitas magnetik pada sampel sedimen, nilai suseptibilitas magnetik ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rata-rata nilai suseptibilitas magnetik setiap sampel, dengan χ_{LF} adalah nilai suseptibilitas magnetik frekuensi rendah, χ_{HF} adalah nilai suseptibilitas magnetik frekuensi tinggi, dan $\chi_{FD}(\%)$ adalah nilai suseptibilitas magnetik frekuensi bergantung frekuensi.

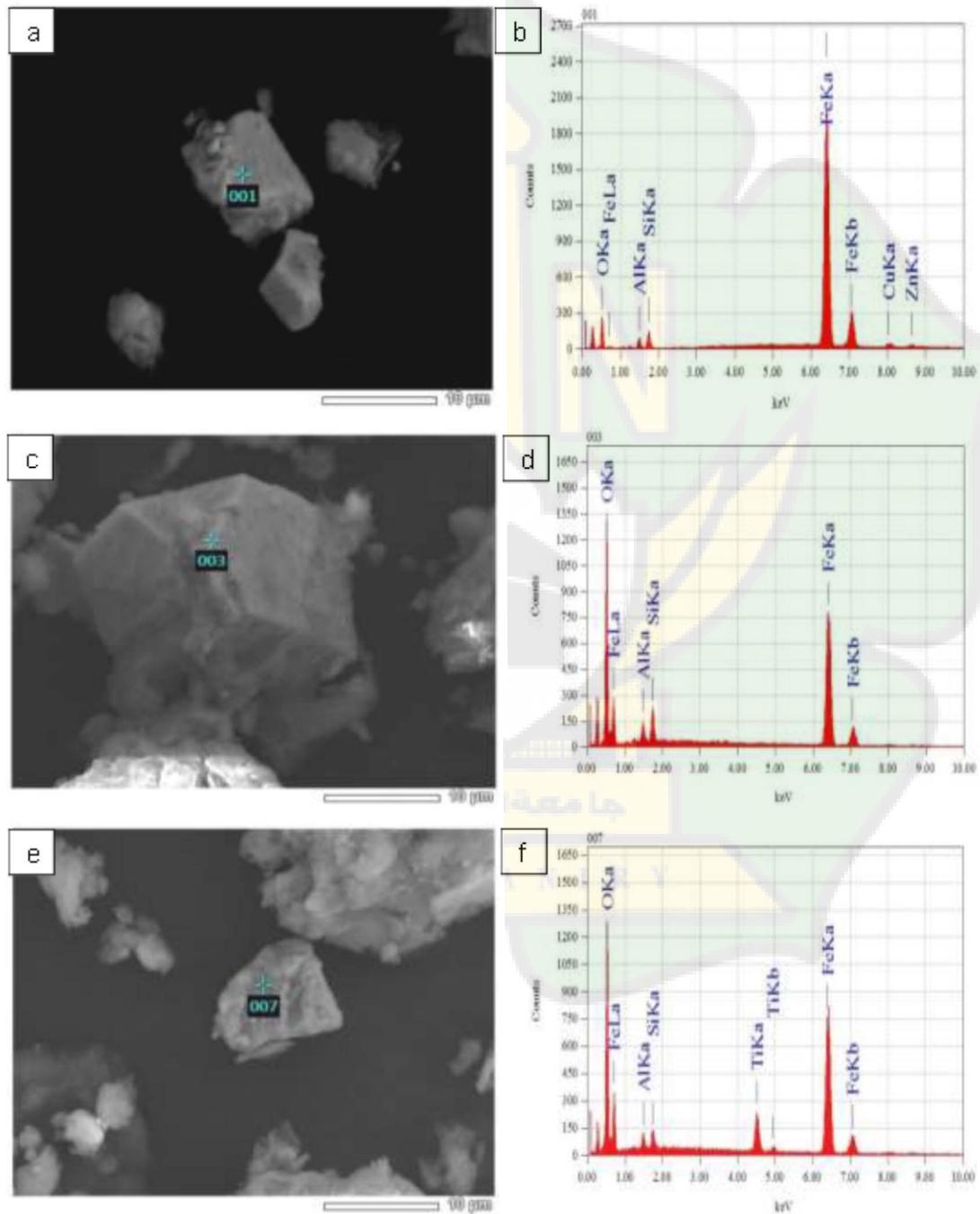
Titik	Suseptibilitas Magnetik		
	$\chi_{LF} (\times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1})$	$\chi_{HF} (\times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1})$	$\chi_{FD} (\%)$
1	706,3 \pm 10,4	705,8 \pm 8,5	0,07
2	389,6 \pm 11,0	385,5 \pm 2,7	1,05
3	603,2 \pm 9,9	597,4 \pm 6,2	0,96
4	428,3 \pm 10,6	412,8 \pm 2,8	3,62
5	1380,9 \pm 3,2	1385,4 \pm 3,3	0,00
6	1184,3 \pm 6,8	1173,9 \pm 6,5	0,88
7	258,1 \pm 3,7	248,6 \pm 7,6	3,68
8	95,7 \pm 5,3	89,2 \pm 4,7	6,79

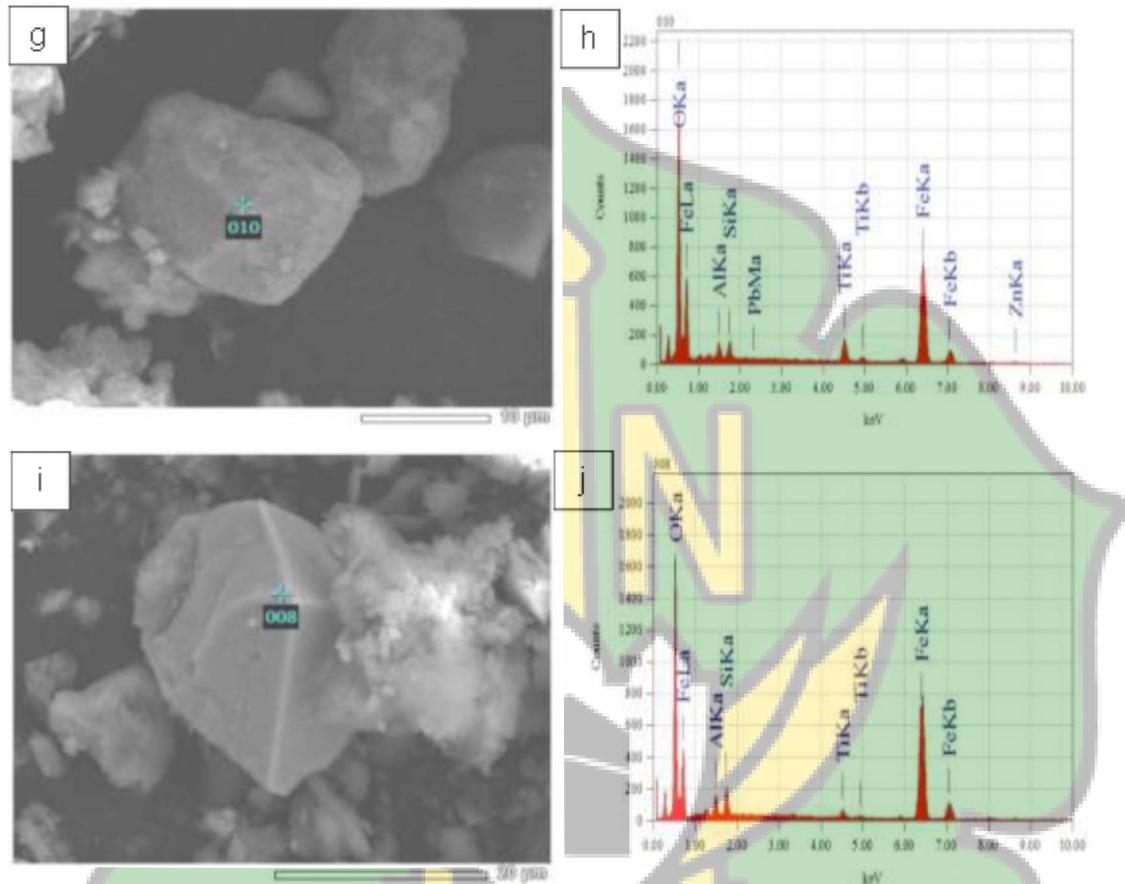


Gambar 4.3 Grafik distribusi suseptibilitas magnetik.

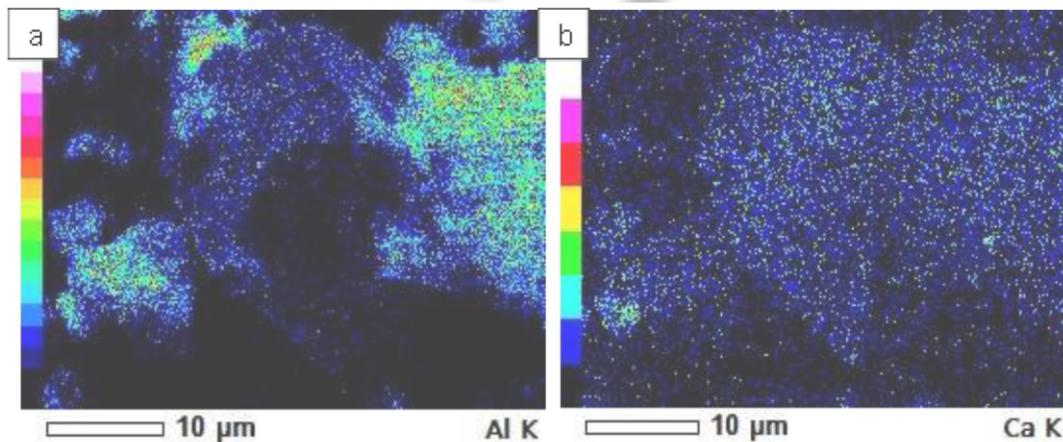
4.1.4 Hasil Analisa SEM-EDS

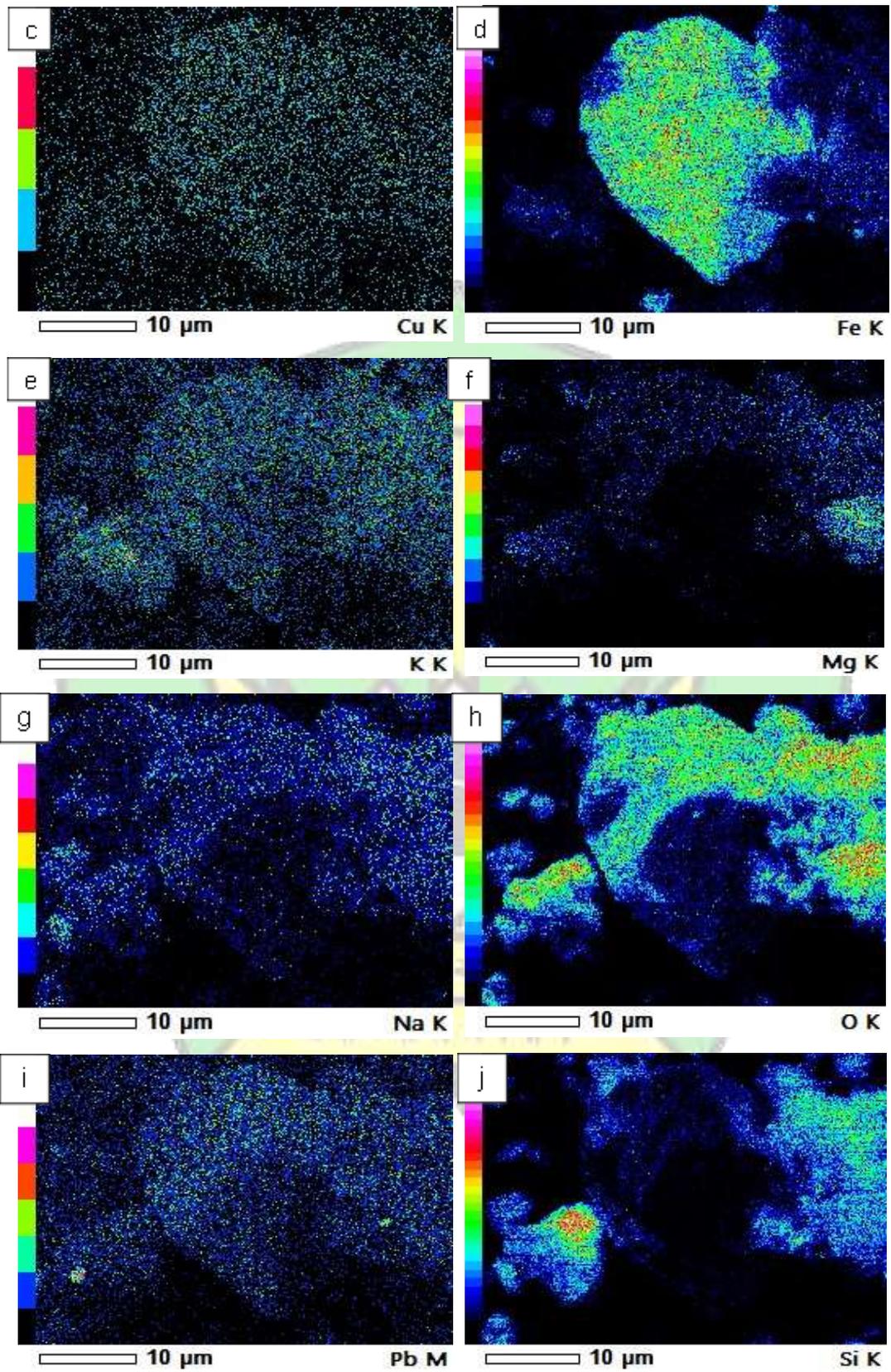
Berdasarkan hasil analisa SEM-EDS diperoleh bentuk, ukuran bulir mineral serta kandungan unsur yang terkandung dalam sampel sedimen ditunjukkan pada Gambar 4.4. Sementara itu, hasil analisis SEM *Mapping* unsur yang terkandung dalam sampel sedimen Sungai Krueng Aceh yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.

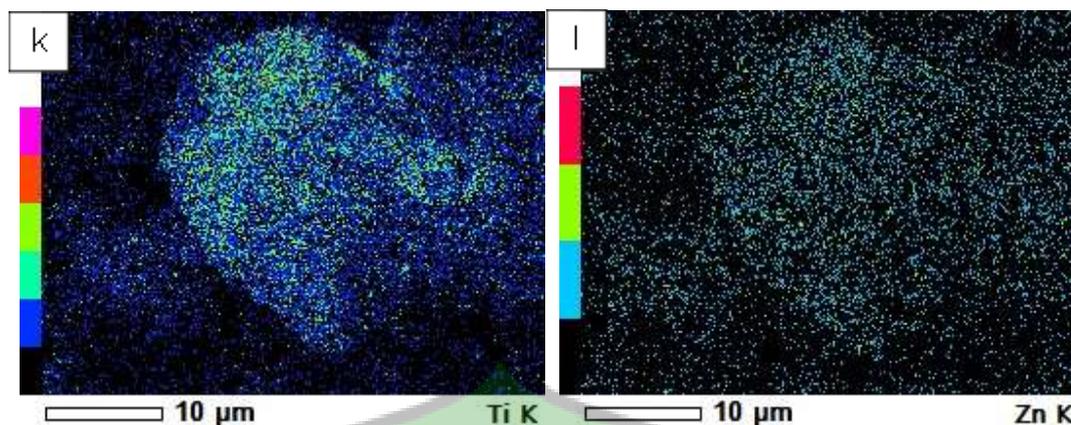




Gambar 4.4 Foto SEM sampel sedimen Sungai Krueng Aceh (a) SEM morfologi spot 1 pembesaran $\times 3.000$, (b) EDS SEM spot 1, (c) SEM morfologi spot 2 pembesaran $\times 3.000$, (d) EDS SEM spot 2, (e) SEM morfologi spot 3 pembesaran $\times 3.000$, (f) EDS SEM spot 3, (g) SEM morfologi spot 4 pembesaran $\times 3.000$, (h) EDS SEM spot 4, (i) SEM morfologi spot 4 pembesaran $\times 2.500$, (j) EDS SEM spot 4.







Gambar 4.5 Foto SEM Mapping (a) unsur Al (b) unsur Ca, (c) unsur Cu, (d) unsur Fe, (e) unsur K, (f) unsur Mg, (g) unsur Na, (h) unsur O, (i) unsur Pb, (j) unsur Si, (k) unsur Ti, (l) unsur Zn.

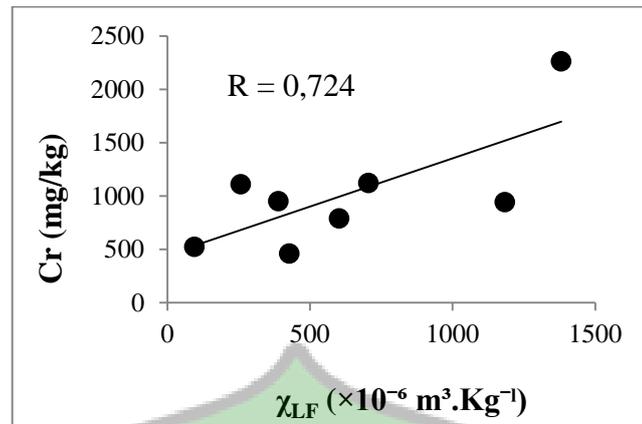
4.1.5 Hasil Analisa Statistik

Berdasarkan hasil analisis statistik untuk mengetahui tingkat korelasi antara parameter magnetik dengan logam berat serta korelasi antara logam berat dengan logam berat ditunjukkan pada Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.4 Korelasi Pearson (R) antara parameter magnetik dan kandungan logam berat. Nilai R untuk korelasi kuat (0,707) ditandai arsir biru.

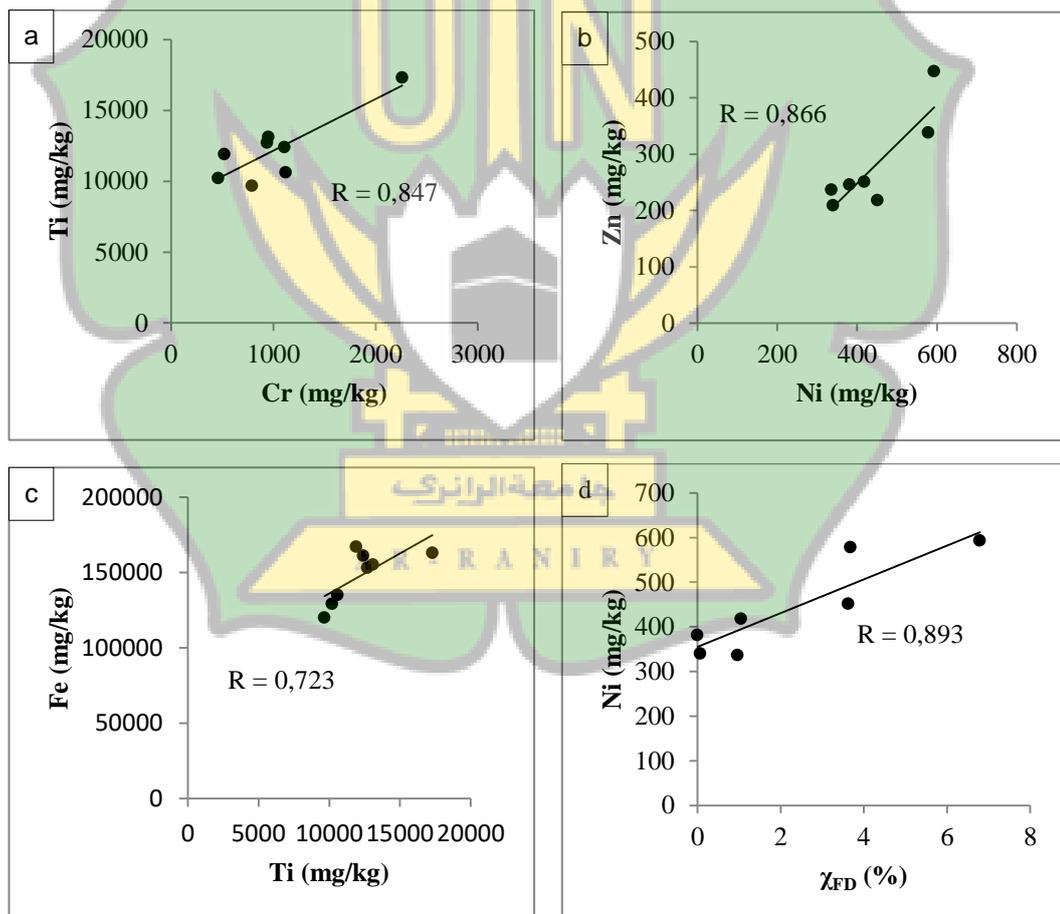
Komponen	Cr	Ni	Zn	Ti	Fe	Mn	χ_{LF}
Ni	-0,334						
Zn	-0,266	0,866					
Ti	0,846	0,039	0,101				
Fe	0,367	0,644	0,676	0,723			
Mn	-0,003	-0,321	-0,345	0,010	-0,045		
χ_{LF}	0,724	-0,669	-0,329	0,577	0,017	-0,366	
χ_{FD}	-0,586	0,893	0,726	-0,258	0,325	-0,120	-0,746

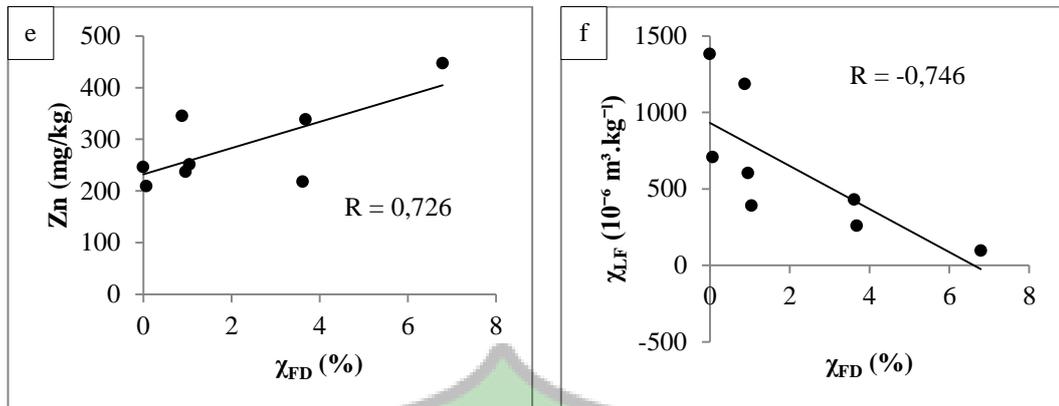
Berdasarkan Tabel 4.4 diketahui korelasi parameter magnetik dengan kandungan logam berat pada sedimen Sungai Krueng Aceh. Adapun gambar korelasi parameter magnetik dengan kandungan logam seperti yang ditunjukkan Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Korelasi antara nilai χ_{LF} dengan logam Cr

Korelasi antara parameter magnetik dengan kandungan logam berat ditunjukkan pada Gambar 4.7.





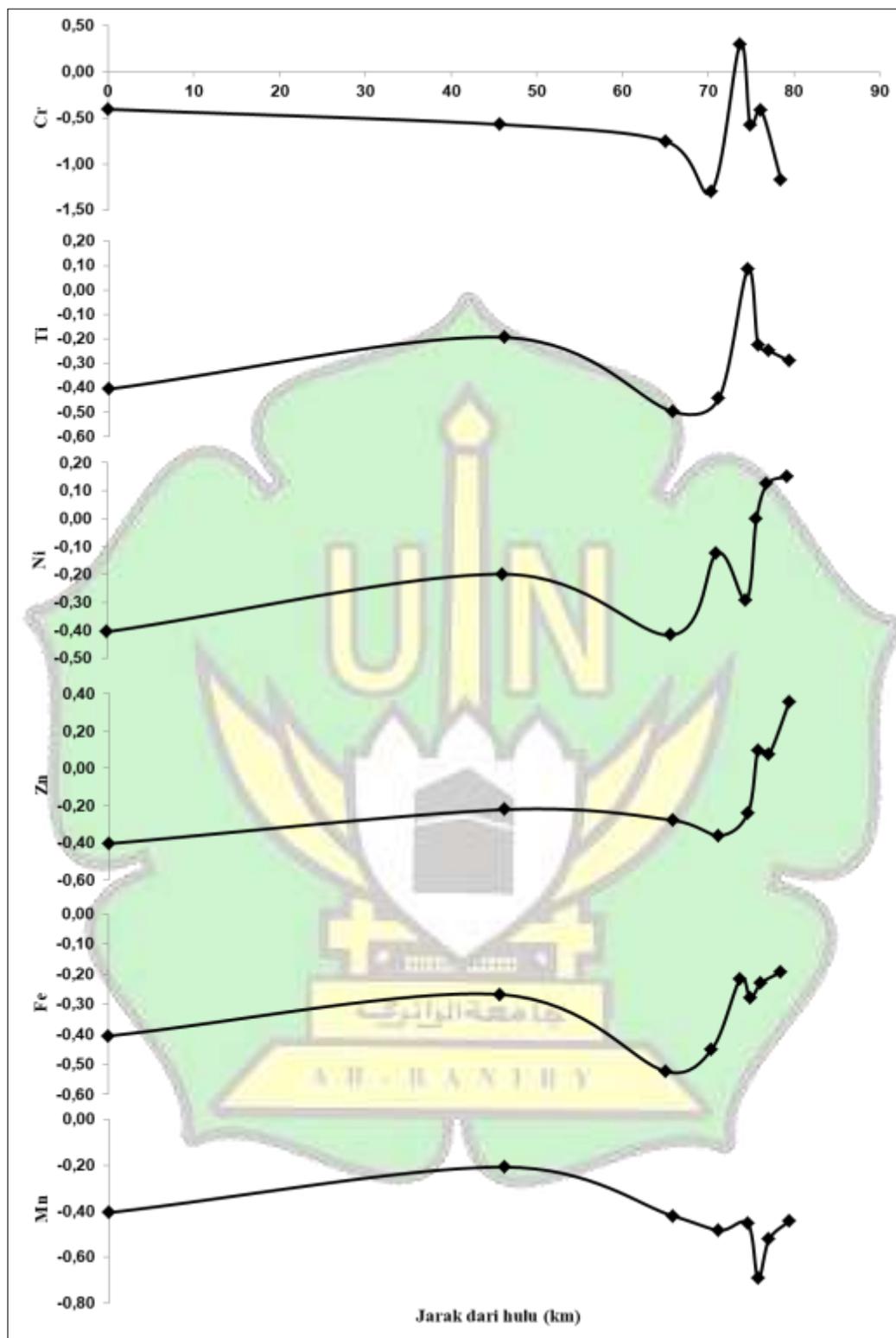
Gambar 4.7 Hasil Analisis Korelasi Pearson (a) Cr dengan Ti, (b) Ni dengan Zn, (c) Ti dengan Fe, (d) χ_{FD} dengan Ni, (e) χ_{FD} dengan Zn, (f) χ_{FD} dengan χ_{LF} .

4.1.6 Analisis Indeks Geoakumulasi dan Gradien Logam Berat

Berdasarkan hasil pengukuran kimia diperoleh hasil analisis indeks geoakumulasi, yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

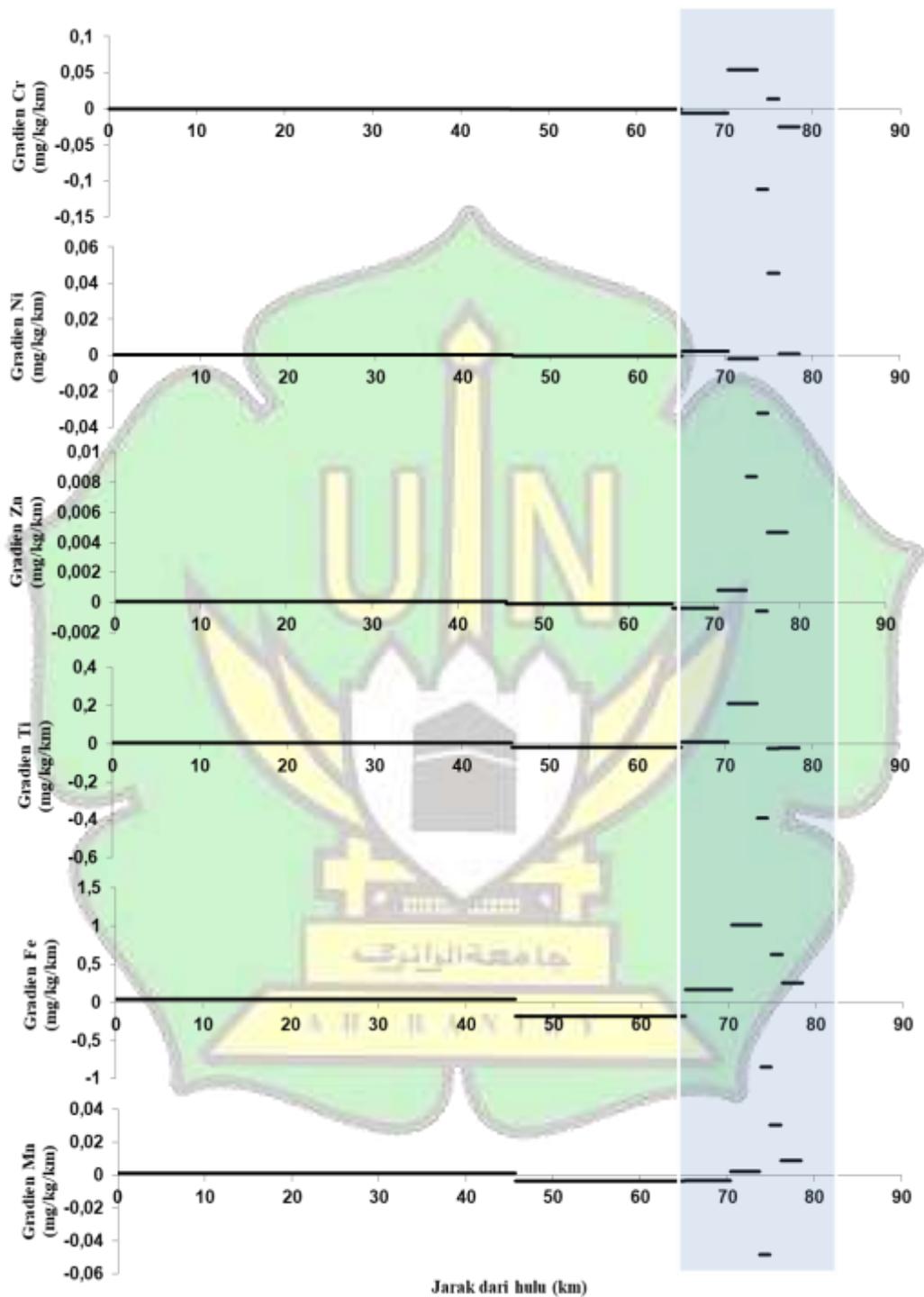
Tabel 4.5 Nilai Indeks Geoakumulasi logam Cr, Ni, Fe, Zn, Ti dan Mn pada Sampel Sedimen. Arsir biru menunjukkan logam yang tercemar pada suatu titik (Kim dkk., 2018).

Lokasi (km)	Indeks Geoakumulasi					
	Cr	Ni	Fe	Zn	Ti	Mn
0	-0,41	-0,41	-0,41	-0,41	-0,41	-0,41
45,68	-0,57	-0,20	-0,27	-0,22	-0,19	-0,21
65,1	-0,75	-0,42	-0,52	-0,28	-0,50	-0,42
70,39	-1,30	-0,12	-0,45	-0,36	-0,44	-0,48
73,73	0,30	-0,29	-0,22	-0,24	0,08	-0,45
74,91	-0,58	-	-0,28	0,10	-0,22	-0,69
76,18	-0,41	0,13	-0,23	0,08	-0,25	-0,52
78,51	-1,17	0,15	-0,19	0,35	-0,29	-0,44



Gambar 4.8 Grafik distribusi Hasil Analisis Indeks Geoakumulasi sedimen Sungai Krueng Aceh Cr, Ni, Fe, Ti, Zn dan Mn pada lokasi sampling Sungai Krueng Aceh.

Gradien kelimpahan logam berat pada sampel sedimen sungai ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Gradien Pengayaan logam berat dari hulu hingga hilir Sungai Krueng Aceh.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Status Sungai Krueng Aceh

Tabel 4.1 menunjukkan hasil analisa XRF pada masing-masing sampel. Tabel 4.5 menunjukkan hasil analisis indeks geoakumulasi pada masing-masing titik. Titik 5 mengalami tercemar ringan dari logam Cr dan Ti. Pengayaan kedua logam tersebut diduga berasal dari transportasi yang bersumber dari anak sungai yang terhubung dengan kawasan pesawahan (Ertani dkk., 2017). Berdasarkan Tabel 4.1, Tabel 4.5, dan Gambar 4.8. Zn mengalami peningkatan dari Titik 6 sampai Titik 8 dengan kategori tercemar ringan. Demikian juga dengan Ni yang mengalami peningkatan dari Titik 7 dan Titik 8 dengan kategori tercemar ringan. Peningkatan Zn kemungkinan berasal dari sumber antropogenik dan akumulasi transportasi sedimen. Penelitian sebelumnya menunjukkan logam Zn dapat berasal dari berbagai sumber diantaranya limbah elektronik, Zn terlarut dari atap penduduk yang korosif, dan pestisida pertanian (Fujimori and Takigami, 2013).

Sementara itu, logam Ni juga dapat berasal dari limbah baja dan material yang digunakan dalam aktivitas pembangunan (Kumar dkk., 1994). Namun, berdasarkan analisa SEM, bulir sedimen tidak menunjukkan morfologi bulat yang merupakan indikasi dari sumber antropogenik. Berdasarkan hal tersebut, maka beberapa hipotesis dapat diusulkan sebagai sumber dan mekanisme pengayaan Zn dan Ni di sekitar hilir sungai, diantaranya: (i) akumulasi Zn dan Ni kemungkinan berasal dari ion-ion yang berasal dari badan air (Yi dkk., 2012), (ii) karena hilir sungai merupakan kawasan estuaria, maka kemungkinan pengayaan logam berasal dari perairan air laut (Meng dkk., 2008), (iii) sumber-sumber antropogenik dalam bentuk ionik seperti limbah cair yang masuk ke badan air, namun mengalami interaksi ionik dengan sedimen (Yang dkk., 2012).

Sumber-sumber antropogenik dalam bentuk ionik dapat berasal dari tataguna lahan di sekitar lokasi. Tata guna lahan tersebut yang terindikasi sebagai sumber Zn dan Ni diantaranya: (a) pasar tradisional, (b) perumahan, (c) pertokoan dan, (d) beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya kemungkinan dari lindi TPA yang merembes ke badan perairan sungai (Hadi dkk., 2018). Meskipun konsentrasi Fe didalam sampel terbilang sangat tinggi dibandingkan dengan

beberapa hasil pengukuran di sungai (Maryanto dkk., 2019), namun berdasarkan indeks geoakumulasi konsentrasi Fe di dalam sedimen masih dalam status tidak tercemar. Hal ini menunjukkan bahwa Sungai Krueng Aceh memiliki kandungan Fe yang tinggi disebabkan oleh kondisi geologis sungai yang berada di lingkungan vulkanis. Hal ini diperkuat dengan kandungan Mn yang juga berada dalam status yang sama. Sejauh ini Fe dan Mn merupakan unsur utama yang terdapat di dalam batuan vulkanis (Esteller dkk., 2017).

Tingginya logam-logam penyusun batuan vulkanis pada sedimen sampel juga didukung oleh data XRD yang menunjukkan hadirnya mineral-mineral yang berbasis Si dan Ti yang merupakan penciri utama dari batuan dasar vulkanis (Nanzyo dkk., 1993). Sementara itu, Pb terdeteksi dalam pengukuran SEM Mapping pada Gambar 4.9. Namun, pengukuran XRF tidak mendeteksi kehadiran Pb didalam sedimen. Hal ini disebabkan konsentrasi Pb didalam sedimen berada dalam konsentrasi yang sangat kecil dan kemungkinan berasal dari sumber litogenik. Hal ini diperkuat dengan temuan mineral berbasis Pb berupa crocoite pada sedimen hulu sungai. Hasil ini berbeda dengan rencana penelitian sebelumnya, yang menduga bahwa Pb mengalami pengayaan di daerah hilir akibat aktivitas perkapalan di hilir sungai.

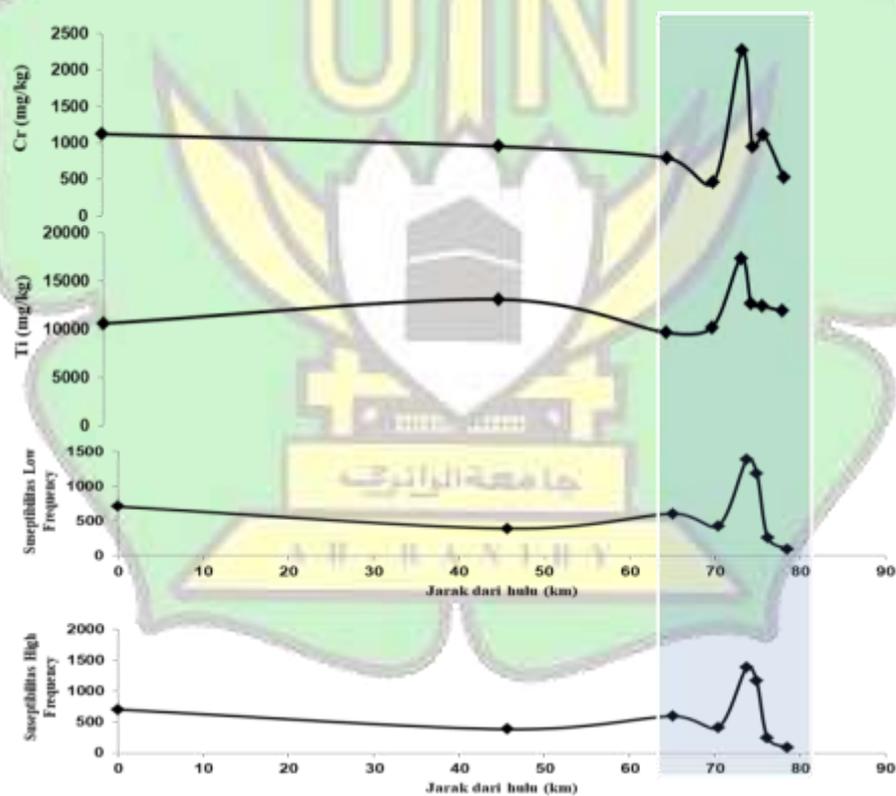
Hadi dkk. (2018) melaporkan bahwa terdapat Pb di dalam sedimen melayang Sungai Krueng Aceh. Hasil analisis penelitian ini mengindikasikan bahwa logam Pb pada sedimen melayang tidak terendapkan pada sedimen dasar. Hal tersebut diduga karena kontaminasi Pb pada sedimen melayang berasal dari emisi minyak perkapalan, namun karena massa jenis minyak lebih kecil dan memiliki sifat yang kohesif maka Pb tidak berinteraksi dengan sedimen dasar sungai. Pengayaan logam terjadi dengan sangat drastis pada Titik 5, Titik 6, Titik, Titik 7 dan Titik 8. Selain dari dugaan akibat aktivitas, transportasi dan kondisi geologis, pengayaan logam juga teridentifikasi pada daerah eutaria. Hal ini menunjukkan adanya kontribusi dari air laut dalam memberi pengayaan logam pada wilayah tersebut. Dugaan ini ditunjukkan pada Gambar 4.10.

4.2.2 Reliabilitas Metode Suseptibilitas Magnetik dalam *Monitoring* Logam

Perubahan nilai χ_{LF} dari titik ke titik dapat ditunjukkan pada Gambar 4.3. Perubahan χ_{LF} diduga disebabkan oleh kehadiran mineral magnetik didalam sampel dengan konsentrasi yang berbeda tiap sampel. Perbedaan nilai χ_{LF} berasal dari perbedaan jenis dan kelimpahan mineral magnetik dari masing-masing sampel (Canbay dkk., 2010, Sudarningsih dkk., 2017 dan Maryanto dkk., 2019). Berdasarkan pengukuran dua frekuensi suseptibilitas magnetik, diperoleh nilai $\chi_{FD}(\%)$ yang berbeda-beda tiap sampel. Nilai $\chi_{FD}(\%)$ menunjukkan kelimpahan superparamagnetik oksida besi didalam sampel (Maryanto dkk., 2019). Mineral magnetik yang mempengaruhi perbedaan nilai dapat χ_{LF} dan $\chi_{FD}(\%)$ dapat berasal dari sumber litogenik, pedogenik dan antropogenik (Magiera dkk., 2019). Sumber litogenik dan pedogenik diduga berasal dari batuan induk vulkanis yang menjadi karakter geologis Sungai Krueng Aceh (Syukri dkk., 2018). Hal ini didukung oleh pernyataan Sudarningsih dkk. (2017) dan Maryanto dkk. (2019) yang mengemukakan bahwa sedimen dasar sungai vulkanis mengandung mineral magnetik yang memiliki nilai suseptibilitas yang tinggi.

Secara teoritis nilai χ_{LF} yang ditemukan pada penelitian ini mengindikasikan kehadiran mineral ferromagnetik (Lu dkk., 2016). Berdasarkan analisa XRD, mineral magnetik pembawa nilai suseptibilitas magnetik seperti magnetite dan hematite tidak ditemukan pada sampel yang dianalisis. Padahal mineral-mineral tersebut pada umumnya ditemukan pada sedimen sungai (Togibasa dkk., 2018). Berdasarkan analisa difraktogram yang menunjukkan mineral berbasis Fe didalam sedimen adalah mineral Ferrosilite di daerah hulu (Titik 1), dan mineral Pigeonite di daerah hilir (Titik 8). Kedua mineral tersebut belum pernah dilaporkan menjadi pembawa utama sifat magnetik didalam sedimen. Magnetite adalah mineral magnetik yang memiliki nilai suseptibilitas yang tinggi. Laporan dari beberapa riset terhadap sedimen (Li et al., 2016, Sudarningsih dkk., 2017, Yunginger dkk., 2018, dan Maryanto dkk., 2019) menunjukkan bahwa pembawa sifat magnetik lebih ditentukan oleh magnetite. Hal tersebut disebabkan magnetite dapat memberikan magnetisasi yang besar meskipun hadir dalam konsentrasi yang rendah.

Berdasarkan uji korelasi Pearson, pada Tabel 4.4. nilai nilai χ_{LF} berkorelasi dengan logam Cr. Korelasi tersebut menunjukkan bahwa nilai χ_{LF} dapat dijadikan sebagai indikator proksi untuk *monitoring* kelimpahan Cr. Di lain sisi, nilai χ_{LF} tidak menunjukkan korelasi yang signifikan dengan Fe dan Ti. Berdasarkan hasil analisa XRD, ditemukan mineral berbasis Cr, yaitu mineral Crocoite pada daerah hulu sungai, dan mineral Dietzeite pada daerah hilir sungai. Hasil penelitian, merupakan temuan pertama yang menunjukkan adanya asosiasi kedua mineral tersebut dengan nilai-nilai χ_{LF} pada sedimen sungai. Meskipun Ti tidak berkorelasi dengan nilai χ_{LF} , namun Ti berkorelasi dengan Cr. Korelasi suseptibilitas magnetik dengan Cr diduga karena adanya asosiasi mineral-mineral magnetik berbasis Ti dengan mineral berbasis Cr. Berdasarkan analisa XRD, didalam sedimen terdapat mineral yang berbasis Ti, yaitu anatase dan titanite.

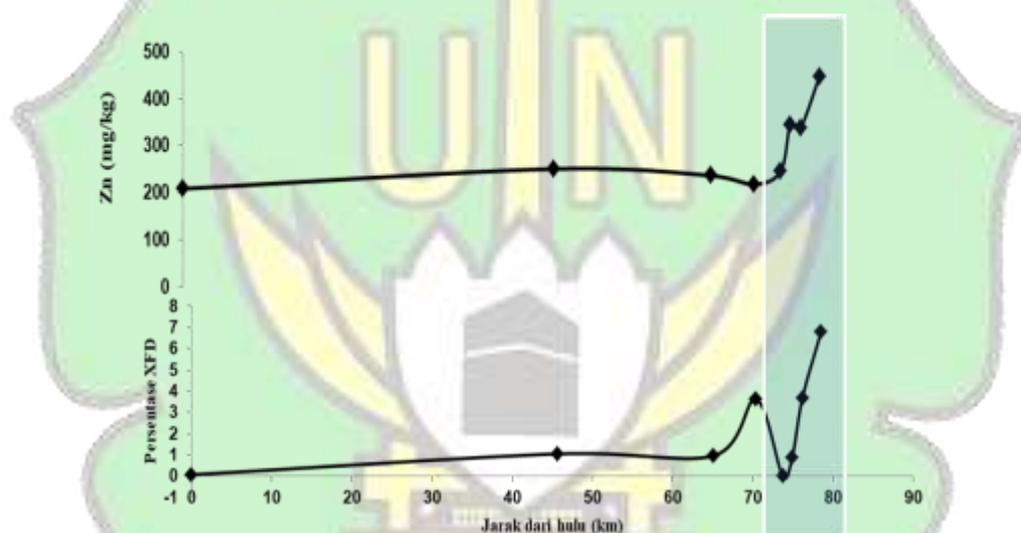


Gambar 4.10 Grafik pola distribusi logam Cr, Ti, dengan nilai χ_{LF} . Arsir biru menunjukkan adanya pola yang serupa antara nilai nilai χ_{LF} dengan logam Cr dan Ti.

Secara teoritis, nilai $\chi_{FD}(\%)$ menunjukkan kelimpahan oksida besi superparamagnetik (Kanu dkk., 2014). Transportasi sedimen dianggap sebagai faktor yang menentukan kelimpahan mineral magnetik pada ukuran bulir tertentu. Pada daerah hulu yaitu Titik 1 sampai Titik 3, nilai $\chi_{FD}(\%) < 2\%$ yang menunjukkan rendahnya kelimpahan oksida besi superparamagnetik, atau dapat diartikan ukuran bulir berada pada ukuran multidomain (Dearing, 1999) dengan bulir kasar. Hal ini sangat logis, karena pada daerah hulu sedimen belum mengalami perubahan bentuk bulir menjadi kecil dan halus yang dapat disebabkan oleh mekanisme fisika seperti transportasi, dan pelapukan (Ananthapadmanabha dkk., 2014). Sementara itu, pada Titik 4, Titik 7 dan Titik 8 nilai $\chi_{FD}(\%)$ berada pada $2\% < \chi_{FD}(\%) < 10\%$ yang menunjukkan bahwa bulir superparamagnetik yang terkandung adalah 10-75%. Interval tersebut mengindikasikan adanya kombinasi antara bulir magnetik yang berukuran halus dan kasar. Hal ini menunjukkan pengayaan oksida besi superparamagnetik pada titik tersebut.

Kelimpahan bulir superparamagnetik dapat berasal dari hasil pelapukan batuan dasar dan aktivitas antropogenik. Pelapukan batuan dipengaruhi oleh temperatur dan tekanan serta sangat ditentukan oleh kondisi iklim regional (Ananthapadmanabha dkk., 2016). Partikulat antropogenik berasal dari aktivitas manusia. Namun, pada Titik 7 dan Titik 8 oksida besi yang hadir diduga berasal dari akumulasi transportasi sedimen yang mengalami perubahan bentuk dan ukuran akibat proses transportasi. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa partikulat antropogenik berbentuk bulat (Yunginger dkk., 2018). Meskipun terdapat kemungkinan bahwa kehadiran bulir superparamagnetik berasal dari aktivitas antropogenik seperti perkapalan, pembuangan sampah, dan penggunaan lahan di sekitar kawasan Titik 7 dan Titik 8 menjadi pasar tradisional, tetapi berdasarkan hasil pengamatan SEM pada Gambar 4.4, citra menunjukkan bahwa bentuk bulir magnetik di hilir bukan dalam bentuk bulir bulat. Temuan ini memberi informasi bahwa perlu kehati-hatian dalam menganalisis dan menginterpretasi pengayaan logam berat yang terdapat didalam sedimen dasar sungai vulkanis, bahwa pengayaan tidak serta merta berasal dari aktivitas manusia di sekitar sungai.

Berdasarkan matriks hasil korelasi Pearson pada Tabel 4.4. dan Gambar 4.7 nilai $\chi_{FD}(\%)$ memiliki korelasi positif yang signifikan dengan nilai konsentrasi Zn dan Ni. Kemudian, terdapat korelasi Ni dan Zn. Hal ini mengindikasikan bahwa Zn dan Ni kemungkinan berasosiasi di dalam sungai dengan bulir-bulir superparamagnetik. Zn dan Ni tidak terdeteksi dalam hasil analisa XRD. Hal ini kemungkinan Zn dan Ni berikatan dengan sedimen dalam bentuk ikatan ionik. Asosiasi tersebut terlihat jelas secara kualitatif pada Gambar 4.11. Grafik pada gambar tersebut menunjukkan adanya kecenderungan pola pengayaan Zn yang serupa dengan kenaikan nilai-nilai $\chi_{FD}(\%)$. Hasil ini memerlukan investigasi lanjutan terkait mineral magnetik yang berasosiasi dengan Zn, termasuk ukuran bulir mineral magnetik tersebut.

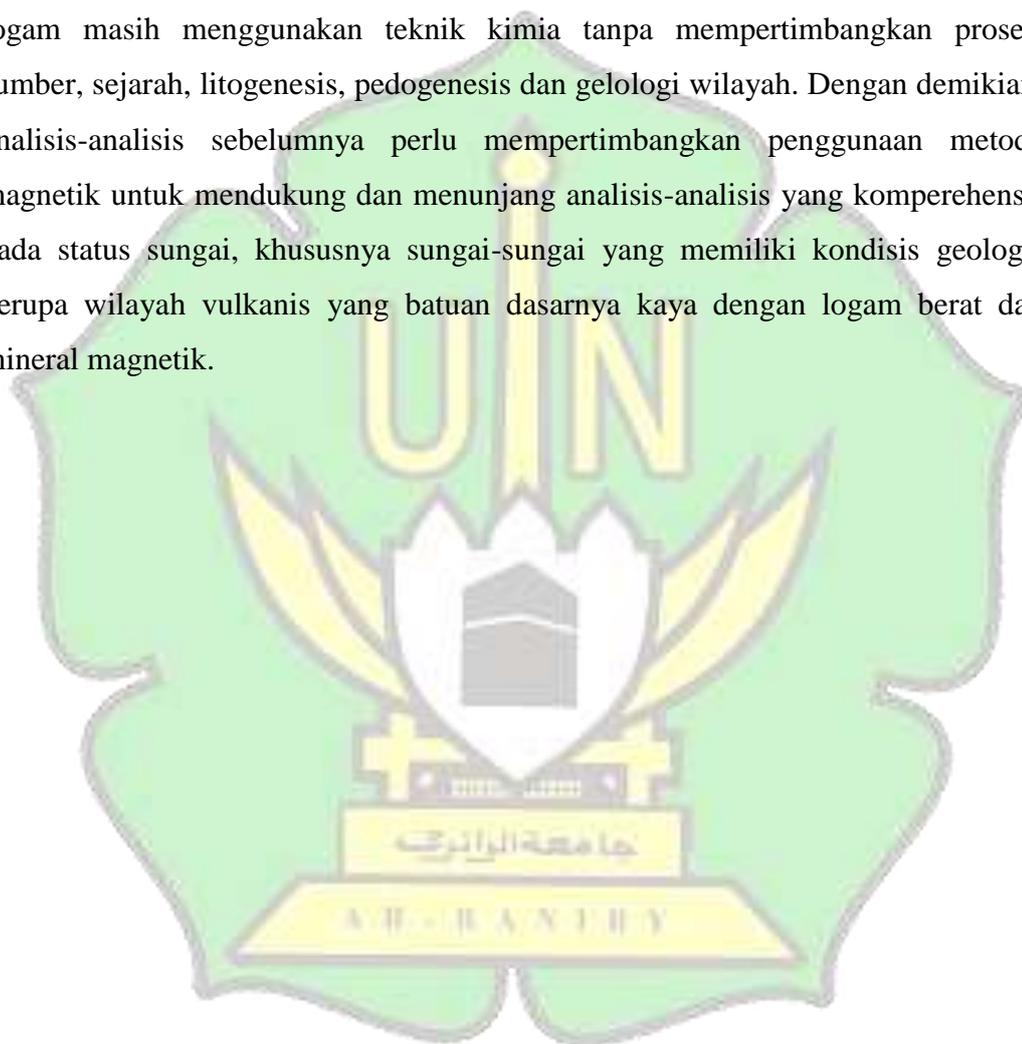


Gambar 4.11 Grafik pola distribusi logam Zn dengan nilai $\chi_{FD}(\%)$. Arsir biru menunjukkan adanya pola yang serupa antara nilai nilai $\chi_{FD}(\%)$ dengan logam Zn.

Nilai χ_{LF} dan nilai $\chi_{FD}(\%)$ saling berkorelasi negatif dengan signifikan. Korelasi tersebut dalam beberapa studi menunjukkan bahwa pengayaan mineral magnetik yang memiliki nilai suseptibilitas lebih rendah namun berukuran lebih kecil. Kenaikan oksida besi dalam studi-studi sebelumnya dilaporkan sebagai partikulat antropogenik (Novala dkk., 2016). Namun, berdasarkan pengamatan SEM dan pernyataan sebelumnya, maka perlu kehati-hatian dalam menginterpretasikan korelasi tersebut. Perbedaan tersebut kemungkinan

disebabkan karena sungai Krueng Aceh bukan merupakan sungai yang telah terkontaminasi limbah industri dan aktivitas manusia lainnya seperti pada beberapa daerah urban metropolitan. Kenaikan oksida besi kemungkinan disebabkan oleh proses litogenik (Cavanaugh dkk., 2006).

Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam menganalisis status pengayaan logam berat pada sungai vulkanis. Sejauh ini, analisis pengayaan logam masih menggunakan teknik kimia tanpa mempertimbangkan proses, sumber, sejarah, litogenesis, pedogenesis dan geologi wilayah. Dengan demikian, analisis-analisis sebelumnya perlu mempertimbangkan penggunaan metode magnetik untuk mendukung dan menunjang analisis-analisis yang komprehensif pada status sungai, khususnya sungai-sungai yang memiliki kondisi geologis berupa wilayah vulkanis yang batuan dasarnya kaya dengan logam berat dan mineral magnetik.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Status Sungai Krueng Aceh pada beberapa titik masih dalam kategori tidak tercemar dan sebagian lainnya dalam kategori tercemar ringan. Titik 5 mengalami tercemar ringan untuk logam, Cr dan Ti. Logam Zn mencemari dengan ringan pada Titik 6, 7 dan 8. Sementara itu, Ni mencemari dengan ringan pada Titik 7 dan 8. Berdasarkan analisa SEM pencemaran diduga kuat bersumber dari partikulat litogenik yang berasal dari mekanisme erosi dan transportasi, serta partikulat antropogenik yang terikat didalam sedimen dalam mekanisme ionik.
2. Metode suseptibilitas magnetik memiliki korelasi 0,724 dengan logam Cr sehingga sangat bagus untuk digunakan sebagai indikator proksi pencemaran Cr pada sedimen Sungai Krueng Aceh. Metode suseptibilitas magnetik melalui nilai $\chi_{FD}(\%)$ dapat digunakan sebagai indikator pembeda pengayaan partikel litogenik. Nilai suseptibilitas magnetik juga dapat digunakan sebagai indikator pengayaan logam-logam berat disedimen dasar Sungai Krueng Aceh. Nilai suseptibilitas magnetik diduga dibawa oleh mineral-mineral yang berbasis Cr, Ti dan Fe serta mineral-mineral magnetik lainnya yang memiliki konsentrasi di bawah 2%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh beberapa saran untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan riset. Beberapa saran tersebut ialah:

1. Perlu kehati-hatian dalam menganalisis dan menginterpretasi pengayaan logam berat yang terdapat di dalam sedimen dasar sungai vulkanis, bahwa pengayaan tidak serta merta berasal dari aktivitas manusia disekitar sungai.

2. Perlu dilakukan investigasi lanjutan terkait mineral magnetik yang berasosiasi dengan Zn, termasuk ukuran bulir mineral magnetik tersebut.
3. Perlu dilakukan investigasi lanjutan terhadap kehadiran mineral crocoite dan mineral dietzeite serta penjelasan mengenai model asosiasi mineral-mineral tersebut dengan mineral magnetik.



DAFTAR PUSTAKA

- Ananthapadmanabha, A.L., Shankar, R., and Sandeep, K. (2014). Rock magnetic properties of lateritic soil profiles from southern India: Evidence for pedogenic processes. *Journal of Applied Geophysics*, 111, 203-210. doi:10.1016/j.jappgeo.2014.10.009.
- Artiola, J.F & Brusseau, M.L. (2019). *Environmental and Pollution Science (Third Edition) 2019, Chapter 10-The Role of Environmental Monitoring in Pollution Science*, Pages 149-162. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00010-0>.
- Asdak, C. (1995). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Badan Pusat Statistik. (2018): *Banda Aceh dalam Angka*. BPS Kota Banda Aceh. Banda Aceh.
- Bao, L.J.; Hu, C.F.; Hui, C.J.; Sheng, X.D.; Hai, X.Q. (2011). Humid Medieval warm period recorded by magnetic characteristic of sediments from Gonghai Lake, Shanxi, North China. *Chin. Sci. Bull.* 56, 2464-2474.
- Bennett, J. D., Cameon, N.R., D.Mc.C. Bridge, M. C. G. Clarke, A. Djunuddin, S.A. Ghazali, H. Harahap, D. H. Jeffry, W. Kartawa, W. Keats, H. Ngabito, N.M.S. Rock dan S.J. Thompson. (1983): *Peta geologi lembar Banda Aceh, Sumatera, skala 1:250.000*. Puslitbang Geologi. Bandung.
- Brempong, F., Mariam, Q. dan Preko, K. (2016): The Use of Magnetic Susceptibility Measurements to Determine Pollution of Agricultural Soils in Road Proximity, African. *Journal of Environmental Science and Technology*, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Kumasi, Ghana, Vol. 10(9), 263-271.
- Callister, W. D., (2007). *Material Science and Engineering, An Introduction 7ed*, Departement of Metallurgical Engineering The University of Utah, John Willey and Sons, Inc.

- Canbay, M., Aydin, A., & Kurtulus, C. (2010). Magnetic susceptibility and heavy-metal contamination in topsoils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 70(1), 46-057. doi:10.1016/j.jappgeo.2009.11.002.
- Cavanough, G. L., Holtham, P. N., & Powell, T. M. (2006). Magnetic susceptibility measurement applied to the minerals industry. *Minerals Engineering*, 19(15), 1588-1595. doi:10.1016/j.mineng.2006.04.017.
- Chandrasekaran, S., Sankaran Pillai, G., & Venkatraman, B. (2020). Spatial and heavy metal assessment in beach sands of east coast of Tamil Nadu India. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 100324. doi:10.1016/j.enmm.2020.100324.
- Connell, D.W., dan G.J. Miller. (1995): *Kimia dan ekotoksikologi pencemaran*. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- DAI. (2006): *Survai Awal Kondisi Daerah Aliran Sungai Krueng Aceh*. USAID.
- Darmono. (2001): *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungan dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI Press. Jakarta.
- Dearing, J. A., (1999). *Environmental Magnetic Susceptibility: Using the Bartington MS2 System*. Chi Pub, Kenilworth.
- Djauhari, N. (2012): *Pengantar Geologi*. Universitas Pakuan. Bogor.
- Doddi, Y. (2016). *Modul Praktikum Material Teknik*. Jurnal Gunadharma. Jawa Barat.
- EPA-Ohio. (2001): *Sediment Sampling Guide and Methodologies 2nd edition*. Ohio: Environmental.
- Erlanda, E. P. (2012): *Kajian Sedimentasi Pada Sumber Air Baku PDAM Kota Pontianak*. *Skripsi*. Universitas Tanjungpura.
- Ertani, A., Mietto, A., Borin, M., & Nardi, S. (2017). *Chromium in Agricultural Soils and Crops: A Review*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228 (5). doi:10.1007/s11270-017-3356-y.
- Esteller, M. V., Kondratenko, N., Expósito, J. L., Medina, M., & Martin del Campo, M. A. (2017). Hydrogeochemical characteristics of a volcanic-

sedimentary aquifer with special emphasis on Fe and Mn content: A case study in Mexico. *Journal of Geochemical Exploration*, 180, 113–126.

Fachrul, M.F. (2007): *Metode Sampling Bioekologi*. Bumi Aksara. Jakarta.

Fitri, I. (2016). Analisis Kandungan Mineral Logam Singkapan Batuan Dikawasan Pertambangan Mangan Desa Kumbewaha Kecamatan Siotapina Kabupaten Buton Dengan Menggunakan Metode X-RF. *Hasil Penelitian Universitas Haluoleo*. Skripsi Universitas Haluoleo. Kendari.

Geyer, R. A. (1981): *Marine Environmental Pollution 2*. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam Oxford. New York.

Girdler, R.W. (1961): Some Preliminary Measurements of Anisotropy of Magnetic Susceptibility of Rocks, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 5, hal. 197-206.

Hadi, I., S. Suhendrayatna, Z.A. Muchlisin. (2018): Status Mutu Air dan Kandungan Logam Berat pada Air dan Sedimen di Muara Krueng Aceh, Kota Banda Aceh. *Depik*, 7(2): 91-99.

Hamdan, A. M., Bijaksana, S., Tjoa, A., Dahrin, D., & Kirana, K. H. (2019). Magnetic characterizations of nickel hyperaccumulating plants (*Planchonella oxyhedra* and *Rinorea bengalensis*) from Halmahera, Indonesia. *International Journal of Phytoremediation*, 1-8. doi:10.1080/15226514.2018.1524839.

Hamdan, A. M., Bijaksana, S., Tjoa, A., Dahrin, D., Fajar, S. J., & Kirana, K. H. (2020). Use and validation of magnetic properties for differentiating nickel hyperaccumulators and non-nickel hyperaccumulators in ultramafic regions. *Journal of Geochemical Exploration*, 106581. doi:10.1016/j.gexplo.2020.106581.

Hamdan. A. M., Mariyanto., Amir. M. F., Utama. W., Bijaksana. S., Pratama. A., Yunginger. R., Sudarningsih. (2019): Heavy Metal Contents and Magnetic Properties of Surface Sediments in Volcanic and Tropical Environment from Brantas River, Jawa Timur, Indonesia. *Journal Science of the Total Environment*. 675. 632-641.

Hasyim, M., & Listiawan, T. (2018). Penerapan Aplikasi Ibm Spss Untuk Analisis Data Bagi Pengajar Pondok Hidayatul Mubtadi'in Ngunut Tulungagung

Demi Meningkatkan Kualitas Pembelajaran Dan Kreativitas Karya Ilmiah Guru. *J-ADIMAS (Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat)*, 2(1).

Hem, J.D. (1970): *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. Washington: United States Government Printing Office.

Hutabarat, S., dan Evans, S.M. (1985): *Pengantar Oseanografi*. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.

Imanudin, T. (2012): *Pemanfaatan Mikroorganisme sebagai Salah Satu Alternatif untuk Mengurangi Pencemaran Logam Berat di Perairan*. Indonesia.

Jahidin, Ngkoimani L.O, dan Bijaksana S. (2011). *Analisis Suseptibilitas Magnetik Batuan Ultrabasa di Desa Mosolo Pulau Wawonii Provinsi Sulawesi Tenggara*. Bandung. ITB.

Jamaluddin, dkk. (2016). Analisis Kandungan Logam Oksida Menggunakan Metode XRF (X-Ray Fluorescence). *Jurnal Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin*.

Kanu, M. O., Meludu, O. C., & Oniku, S. A. (2014). Comparative study of top soil magnetic susceptibility variation based on some human activities. *Geofísica Internacional*, 53 (4), 411-423. doi:10.1016/s0016-7169(14)70075-3.

Kartiwa., B dan Nasrullah. (2010): Analisis Alih Fungsi Lahan dan Keterkaitannya dengan Karakteristik Hidrologi DAS Krueng Aceh. *Jurnal Tanah dan Iklim*. No. 31. ISSN 1410-7244.

Keats, W., N.R. Cameron, A. Djunuddin, S.A. Ghazali, H. Harahap, W. Kartawa, H. Ngabito, N.M.S. Rock, S.J. Thompson, dan R. Whandoyo. (1981): *Peta geologi lembar Lhokseumawe, Sumatera, skala 1: 250.000*. Puslitbang Geologi, Bandung.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 115 tahun 2003 *tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air*. Jakarta.

Kim, B. S. M., Angeli, J. L. F., Ferreira, P. A. L., de Mahiques, M. M., & Figueira, R. C. L. (2018). Critical evaluation of different methods to calculate the Geoaccumulation Index for environmental studies: A new

approach for Baixada Santista-Southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 548-552. doi:10.1016/j.marpolbul.2017.12.049.

Kiswara W. (1990). *Kadar Logam Berat (Cd, Cu, Pb dan Zn) dalam Lamun (Zostera marina L.) di Belanda*. Jakarta.

Kumar, R., Srivastava, P. K., & Srivastava, S. P. (1994). Leaching of heavy metals (Cr, Fe, and Ni) from stainless steel utensils in food simulants and food materials. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 53(2). doi:10.1007/bf00192042.

Kumari, S., Amit, Jamwal, R., Mishra, N., & Singh, D. K. (2020). Recent Developments in Environmental Mercury Bioremediation and its Toxicity: A Review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 100283. doi:10.1016/j.enmm.2020.100283.

Li, M., Liu, J., Xu, Y., Qian, G., (2016). Phosphate adsorption on metal oxides and metal hydroxides: a comparative review. *Environ. Rev.* 24, 319-332. <https://doi.org/10.1139/er-2015-0080>.

Lu, S., Wang, H. dan Guo, J. (2010). *Magnetic Response of Heavy Metals Pollution in Urban Soils: Magnetic Proxy Parameters as an Indicator of Heavy Metals Pollution*. Zhejiang University. Hangzhou. China.

Lu, S., Yu, X., Chen, Y., (2016). Magnetic properties, microstructure and mineralogical phases of technogenicmagnetic particles (TMPs) in urban soils: their source identification and environmental implications. *Sci. Total Environ.* 543, 239-247. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.046>.

Magiera, T., Łukasik, A., Zawadzki, J., & Rösler, W. (2019). Magnetic susceptibility as indicator of anthropogenic disturbances in forest topsoil: A review of magnetic studies carried out in Central European forests. *Ecological Indicators*, 106, 105518. doi:10.1016/j.ecolind.2019.105518.

Makmur, R., Emiyarti., L. O. A. Afu. (2013): Kadar logam berat Timbal (Pb) pada sedimen di kawasan mangrove perairan Teluk Kendari. *Mina Laut Indonesia*. 5 (6): 47-58.

Manan, S. (1979): *Pengaruh Hutan dan Managemen Daerah Aliran Sungai*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

- Mariyanto, M., Amir, M. F., Utama, W., Hamdan, A. M., Bijaksana, S., Pratama, A., Yunginger, R., Sudarningsih, S. (2019). Heavy metal contents and magnetic properties of surface sediments in volcanic and tropical environment from Brantas River, Jawa Timur Province, Indonesia. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.04.244.
- Masrayanti, I. (2013). Analisa Sifat Suseptibilitas Magnetik Batuan Pada Daerah Geotermal Dikawasan Ie Jue, Aceh Besar. *Skripsi*. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Meng, W., Qin, Y., Zheng, B., & Zhang, L. (2008). Heavy metal pollution in Tianjin Bohai Bay, China. *Journal of Environmental Sciences*, 20(7), 814-819. doi:10.1016/s1001-0742(08)62131-2.
- Moechtar, H. Subiyanto. Dan Sugianto, D. (2009): Geologi Aluvium dan Karakter Endapan Pantai/Pematang Pantai di Lembah Krueng Aceh, Aceh Besar (Provinsi. Nanggroe Aceh Darussalam). *Jurnal JSDG*. Vol. 19. No. 4.
- Nanzyo, M., Dahlgren, R., & Shoji, S. (1993). *Chapter 6 Chemical Characteristics of Volcanic Ash Soils. Volcanic Ash Soils-Genesis, Properties and Utilization*, 145–187. doi:10.1016/s0166-2481(08)70267-8.
- Ngkoimani, L, O. (2019). *Use and Validation of Magnetic Properties in Heavy Metal Monitoring of Topsoil Within a Medium-Size Urban Area: A Case Study of Kendari*. Halu Oleo University.
- Novala, G.C., Fitriani, D., Kusnadi, S., Kirana, HK. (2016). Magnetic Properties of Soils from Sarimukti Landfill as Proxy Indicators of Pollution (Case Study: Desa Sarimukti, Kabupaten Bandung Barat), IOP Conf. Series. *Earth and Environmental Science*. 29 (2016) 012015 doi:10.1088/1755-1315/29/1/012015.
- Odum E. P. (1971): *Fundamentals of Ecology*. Ed. ke-3. W.B Saunders Company. Philadelphia.
- Palar, H. (1994): *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. PT. Rineka Cipta, Jakarta.
- PANalytical, B. V. (2009). *X-ray Fluorescence Spectrometry*.

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 1991 Tentang Sungai. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Prasetyo, Y. 2011. *Scanning Electron Microscope dan Optical Emission Spectroscopy*. Bandung.
- Pratama, A., Bijaksana, S., Abdurrahman, M., Santoso, N.A. (2017). Rock Magnetic, Petrography, and Geochemistry Studies of Lava at the Ijen Volcanic Complex (IVC), Banyuwangi, East Java, Indonesia, *Geosciences* 2018, 8, 183; doi:10.3390/geosciences8050183.
- R. E. Smallman and R. J. Bishop, (2000). *Modern Physical Metallurgy And Materials Engineering*, Hill International Book Company, New York.
- Rabee AM, Al-Fatlawy YF, Abd-Al-Husain Najim Abd own, and Nameer M. (2011): Using Pollution Load Index (PLI) and Geoaccumulation Index (I-Geo) for the Assessment of Heavy Metals Pollution in Tigris River Sediment in Baghdad Region. *Jurnal Al-Nahrain Univ.* 14(4):108-114.
- Racmansyah, P.R., Dalfiah, P., dan Ahmad, T. (1998): Uji Toksisitas Logam Berat Terhadap Benur Udang Windu dan Nener Bandeng. *Jurnal Perikanan*. Indonesia.
- Rahayu, S. (2009): *Monitoring Air d Daerah Aliran Sungai*. World Agroforestry Centre-Southeast Asia Regional Office. 104 p. Bogor.
- Ratnawati, N, A. Prasetya, A, T. dan Rahayu, E, F. (2019): Validasi Metode Pengujian Logam Berat Timbal (Pb) dengan Destruksi Basah Menggunakan FAAS dalam Sedimen Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Journal of Chemical Science*. 8 (1).
- Reyes, A.B., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Contreras, A.J.J., Battu, J., Quintana Owen, P., & Carvallo, C. (2013). Rock-magnetic properties of topsoils and urban dust from Morelia (>800,000 inhabitants), Mexico: Implications for anthropogenic pollution monitoring in Mexico's medium size cities. *Geofísica Internacional*, 52(2), 121-133. doi:10.1016/s0016-7169(13)71467-3.
- Rezeki, S. (2019): Pengaruh Peletakan Krib Terhadap Pola Aliran Sungai Krueng Aceh Pada Jembatan Pango. *Tesis*. Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.

- Rochyatun, E. dan Rozak, A. (2007): Pemantauan Kadar Logam Berat dalam Sedimen di Perairan Teluk Jakarta. *Makara Sains*. Vol. 11, No. 1, hal. 2836.
- Saeni M. S. (1989): *Kimia Lingkungan*. PAU Ilmu Hayat. IPB. Bogor.
- Schweitzer, J. (2014). *Scanning Electron Microscope. Radiological And Environmental Management*. Purdue University.
- Shibuya, N. (2003). *Determination Of Uranium Concentration In Water By Microsample X-Ray Analysis (MXA)*. University Of Florida.
- Soeryono, R. (1979): *Kegiatan dan Masalah Kehutanan Dalam DAS*. Proceeding Pertemuan Diskusi Pengelolaan DAS DITSI. Jakarta.
- Sudarningsih. S. Bijaksana. S. Ramdani. R. Hafidz. A. Pratama. Widodo. Iskandar. Dahrin. D. Silvia. Santoso. (2017): Variations in the Concentration of Magnetic Minerals and Heavy Metals in Suspended Sediments from Citarum River and Its Tributaries, West Java, Indonesia. *Jurnal Geosciences*. 7, 66.
- Suharyana. 2012. *Dasar-Dasar dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Sumantry, T. (2002). Aplikasi XRF Untuk Identifikasi Lempung Pada Kegiatan Penyimpanan Lestari Limbah Radioaktif. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII*. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN. ISSN 1410-6086.
- Suryanarayana, C., dan Norton, M. G. (2007). X-Ray Diffraction: a practical approach: *Springer Science & Business Media*.
- Syukri, M., Saad, R., Abubakar, M., Tarmizi, T., Fadhli, Z., Safitri, R. (2018). Volcanic Hazard Implication Based on Magnetic Signatures Study of Seulawah Agam Geothermal System, Indonesia, *Journal of Physics: Conference Series*, doi: 10.1088/1742-6596/1120/1/012028.
- Tanjung, M, S. (2016). Kajian Perletakan Krib Pada Aliran Sungai Krueng Aceh. *Tesis*. Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala. Banda Aceh.
- Tipler, Paul A., (2001): *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 2*. diterjemahkan oleh Bambang Soegijono. Penerbit Erlangga. Jakarta.

- Togibasa, O., Bijaksana, S., & Novala, G. (2018). Magnetic Properties of Iron Sand from the Tor River Estuary, Sarmi, Papua. *Geosciences*, 8(4), 113. doi:10.3390/geosciences8040113.
- Undang-Undang Nomor 23. (1997). *Pengelolaan lingkungan hidup*. Jakarta: Biro Hukum Dan Organisasi.
- Upit R.P, Asrul S.S, dan Nuning V.H. (2011). Kemampuan Tumbuhan Air Sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) yang Terdapat pada Limbah Cair Industri Batik, *Berkala Perikanan Terubuk*. ISSN 0126-4265 Vol. 39, No. 1.
- Wahyuni, Y. (2016). Identifikasi Keberadaan Sungai Purba di Kawasan Krueng Barona Jaya, Aceh Besar dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi. *Skripsi*. UNSYIAH. Banda Aceh.
- Wicaksono, A. P. (2008). Hubungan Morfometri Sungai terhadap Proses Self Purification Sungai Serang, DAS Serang Hilir Kabupaten Kulonprogo. *Skripsi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Widowati, Sastiono, dan R. Jusuf. (2008). *Efek Toksik Logam*. Andi. Yogyakarta.
- Wulan. (2002). Methodology for Selection of Framework Data: Case Study for NSDI in China. Enshede: *Thesis of Master of Science in GeoInformation Management*. International Institute of Geo Information and Earth Observation (ITC).
- Yang, L., Song, X., Zhang, Y., Han, D. 2012. Characterizing interactions between surface water and groundwater in the Jialu River basin using major ion chemistry and stable isotopes, *Hydrology and Earth System Sciences* 9(5):5955-5981.
- Yi, Q., Dou, X. D., Huang, Q. R., & Zhao, X. Q. (2012). Pollution Characteristics of Pb, Zn, As, Cd in the Bijiang River. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 43-52. doi:10.1016/j.proenv.2012.01.004.
- Yunginger, R., Bijaksana, S., Dahrin, D., Zulaikah, S., Hafidz, A., Kirana, K., Fajar, S. (2018). Lithogenic and Anthropogenic Components in Surface Sediments from Lake Limboto as Shown by Magnetic Mineral Characteristics, Trace Metals, and REE Geochemistry. *Geosciences*, 8(4), 116. doi:10.3390/geosciences8040116.

Zein, S. Z., Yasyifa, L. Y., Ghazi, R. G., Harahap, E., Badruzzaman, F. H., & Darmawan, D. (2019). Pengolahan dan Analisis Data Kuantitatif Menggunakan Aplikasi SPSS. *Teknologi Pembelajaran*, 4(2).



LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian

1. Dokumentasi Pengambilan Sampel Sedimen

Gambar	Keterangan
	<p>Pengambilan sampel sedimen di Hulu Sungai Krueng Aceh yang terletak di kawasan pergunungan Jantho Aceh Besar.</p>
	<p>Proses penurunan <i>sediment grab</i> ke dasar Sungai Krueng Aceh.</p> <ul style="list-style-type: none">• Lokasi: Lambaro Kaphe, Aceh Besar.
	<p>Proses pengambilan sampel sedimen Sungai Krueng Aceh dalam alat (<i>sediment grab</i>).</p> <ul style="list-style-type: none">• Lokasi: Lambaro Kaphe, Aceh Besar.



Proses sampel sedimen sungai dimasukkan kedalam kemasan plastik dan dilakukan pebelan.

- Lokasi: Beurawe, Banda Aceh.



Pengambilan sampel sedimen sungai di kawasan Peunayong Banda Aceh.



Pengambilan Sampel sedimen dihilir Sungai Krueng Aceh, yang berlokasi di Gampong Jawa, Kota Banda Aceh.



Sampel-sampel sedimen Sungai Krueng Aceh.

2. Dokumentasi Preparasi Sampel Sedimen

Gambar	Keterangan
	<p>Sampel sedimen dikeringkan dengan menggunakan nampan/wadah plastik pada suhu ruang.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lokasi: Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry.
	<p>Sampel sedimen kering diayak untuk memisahkan sedimen dengan partikel pengotor lainnya seperti kerang kecil.</p>
	<p>Sampel Sedimen dihaluskan dengan menggunakan alu dan mortal.</p>



Sampel sedimen dimasukkan dalam holder untuk pengukuran susceptibilitas magnetik.



Penarikan partikel magnetik dalam sampel sedimen ekstraksi dengan menggunakan besi magnetik.



Sampel-sampel untuk pengukuran XRF, XRD, dan SEM-EDS.



Sampel-sampel sedimen dikirim ke Laboratorium ITB Bandung.

Lampiran 2. Surat Izin Pengukuran Pada Laboratorium ITB

	INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG FAKULTAS TEKNIK PERTAMBANGAN DAN PERMINYAKAN FORMULIR PENERIMAAN SAMPEL PADAT DAN GAS	Nomor Dokumen : F-03.02
		Revisi : 0
		Tanggal Terbit : 1-Dec-19

Nama : Fathul Hakim
 NIM / NPM (*) : 150702029
 Tanggal Penyerahan : 03 Februari 2020
 Judul / Topik Penelitian (*) : Pemetaan Spasial kontaminan Pb pada Sedimen Sungai
 Nomor Handphone : 0821 6829 8801
 e-mail : fathulhakim07@gmail.com
 Universitas / Instansi / Program Studi : UIN Ar-Raniry
 Teknik Lingkungan
 Fase Sampel (*) : 1. Bulk 2. Powder
 Jenis Pengujian (*) : 1. XRD 2. XRF 3. SEM 4. EDS
 5-GB 6-IRMS
 Jumlah Sampel : 9 Sampel
 List Kode Sampel : Sampel 1 (XRF, XRD); Sampel 2 (XRF); Sampel 3 (XRF);
 Sampel 4 (XRF); Sampel 5 (XRF); Sampel 6 (XRF); Sampel
 7 (XRF); Sampel 8 (XRF, XRD); Sampel 9 (SEM-EDS)
 XRD - 2θ : 15 ° hingga 65 ° (Default: 15° - 65°)
 XRD - Perkiraan Mineral pada Sampel (isi jika ingin dianalisis sekalian) : Fe_2O_3 ; Fe_3O_4 ; Mineral berbasis Pb; Mineral berbasis Zn;
 mineral berbasis Ti.
 Pengembalian Sampel (*) : 1. Ya 2. Tidak

Keterangan: (*) coret yang tidak perlu

جامعة الرانيري

Pemberi Sampel

A R - R A N I R Y

Penerima Sampel

Fathul Hakim

Lampiran 3. Sertifikat Hasil Pengukuran Laboratorium

1. Pengukuran XRF

2020- 2- 7 18:05

SQX Calculation Result							
Sample : 1		Application : F-U_Solid_N_281			Sample type : Oxide Powder		Date analyzed : 2020- 2- 7 14:38
		Sample film corr. :			File : 1		Balance :
							Matching library :
							Impurity corr. :
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na	2.35	mass%	0.02364	Na-KA	0.3068	1.1466
2	Mg	3.97	mass%	0.01743	Mg-KA	1.4988	1.9401
3	Al	13.4	mass%	0.01329	Al-KA	19.8784	6.5253
4	Si	51.2	mass%	0.03250	Si-KA	51.2456	25.0167
5	P	0.271	mass%	0.00739	P -KA	0.1795	0.1325
6	S	0.147	mass%	0.00430	S -KA	0.1773	0.0717
7	Cl	0.0358	mass%	0.00388	Cl-KA	0.0646	0.0175
8	K	3.94	mass%	0.01347	K -KA	3.2992	1.9212
9	Ca	9.47	mass%	0.01417	Ca-KA	11.6284	4.6245
10	Ti	1.06	mass%	0.02141	Ti-KA	0.3252	0.5179
11	Cr	0.112	mass%	0.01040	Cr-KA	0.0862	0.0545
12	Mn	0.282	mass%	0.01033	Mn-KA	0.3066	0.1375
13	Fe	13.5	mass%	0.01423	Fe-KA	23.2635	6.6067
14	Ni	0.0340	mass%	0.00479	Ni-KA	0.0812	0.0166
15	Zn	0.0209	mass%	0.00513	Zn-KA	0.0837	0.0102
16	Sr	0.151	mass%	0.00420	Sr-KA	1.7907	0.0735
17	Zr	0.0165	mass%	0.00505	Zr-KA	0.8994	0.0081

SQX Calculation Result

Sample : 2
 Application : F-U_Solid_N_282 Sample type : Oxide Powder Date analyzed : 2020- 2- 7 14:59
 Balance :
 Matching library :
 Sample film corr. :
 Impurity corr. :
 File : 2

No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na	1.13	mass%	0.02307	Na-KA	0.1393	0.5267
2	Mg	2.42	mass%	0.01587	Mg-KA	0.8798	1.1306
3	Al	16.3	mass%	0.01360	Al-KA	23.9744	7.6099
4	Si	52.2	mass%	0.03310	Si-KA	48.6847	24.4193
5	P	0.181	mass%	0.00706	P -KA	0.1126	0.0847
6	S	0.346	mass%	0.00429	S -KA	0.3909	0.1620
7	Cl	0.106	mass%	0.00341	Cl-KA	0.1788	0.0498
8	K	4.03	mass%	0.01312	K -KA	3.1634	1.8858
9	Ca	5.72	mass%	0.01401	Ca-KA	6.6665	2.6740
10	Ti	1.31	mass%	0.01957	Ti-KA	0.4061	0.6104
11	Cr	0.0945	mass%	0.00804	Cr-KA	0.0738	0.0442
12	Mn	0.344	mass%	0.01003	Mn-KA	0.3734	0.1610
13	Fe	15.5	mass%	0.00893	Fe-KA	26.4156	7.2425
14	Ni	0.0418	mass%	0.00569	Ni-KA	0.0944	0.0196
15	Cu	0.0296	mass%	0.00619	Cu-KA	0.0835	0.0139
16	Zn	0.0251	mass%	0.00560	Zn-KA	0.0948	0.0117
17	Sr	0.125	mass%	0.00435	Sr-KA	1.3955	0.0585
18	Y	0.0184	mass%	0.00410	Y -KA	0.2364	0.0086
19	Zr	0.100	mass%	0.02326	Zr-KB1	0.3002	0.0468

جامعة الزاوية

A R - R A N I R Y

2020- 2- 7 18:07

SQX Calculation Result							
Sample : 3		Application : F-U_Solid_N_283		Sample type : Oxide Powder		Date analyzed : 2020- 2- 7 15:20	
Sample film corr. :				Balance :			
File : 3				Matching library :			
				Impurity corr. :			
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na	2.11	mass%	0.02179	Na-KA	0.2733	0.9769
2	Mg	2.64	mass%	0.01647	Mg-KA	0.9827	1.2184
3	Al	13.3	mass%	0.01275	Al-KA	19.8904	6.1298
4	Si	55.3	mass%	0.03225	Si-KA	54.3302	25.5605
5	P	0.227	mass%	0.00763	P -KA	0.1388	0.1048
6	S	0.501	mass%	0.00424	S -KA	0.5586	0.2314
7	Cl	0.246	mass%	0.00349	Cl-KA	0.4085	0.1138
8	K	4.15	mass%	0.01341	K -KA	3.1822	1.9146
9	Ca	7.96	mass%	0.01539	Ca-KA	8.9883	3.6771
10	Ti	0.966	mass%	0.01866	Ti-KA	0.2805	0.4463
11	Cr	0.0789	mass%	0.00906	Cr-KA	0.0578	0.0364
12	Mn	0.278	mass%	0.00942	Mn-KA	0.2889	0.1283
13	Fe	12.0	mass%	0.01253	Fe-KA	19.8623	5.5534
14	Ni	0.0336	mass%	0.00507	Ni-KA	0.0794	0.0155
15	Zn	0.0237	mass%	0.00463	Zn-KA	0.0941	0.0110
16	Sr	0.134	mass%	0.00429	Sr-KA	1.5856	0.0619
17	Zr	0.0228	mass%	0.00470	Zr-KA	0.9535	0.0105

2020- 2- 7 18:01

SQX Calculation Result							
Sample : 4		Application : F-U_Solid_N_285			Sample type : Oxide Powder	Date analyzed : 2020- 2- 7 16:19	
					Balance :		
					Matching library :		
					Sample film corr. :	Impurity corr. :	
					File : 4		
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na	1.58	mass%	0.02129	Na-KA	0.2002	0.7214
2	Mg	2.48	mass%	0.01516	Mg-KA	0.9176	1.1348
3	Al	15.0	mass%	0.01370	Al-KA	22.4263	6.8917
4	Si	54.6	mass%	0.03103	Si-KA	51.7629	25.0184
5	P	0.215	mass%	0.00874	P-KA	0.1294	0.0984
6	S	0.355	mass%	0.00460	S-KA	0.3896	0.1624
7	Cl	0.315	mass%	0.00346	Cl-KA	0.5158	0.1444
8	K	4.23	mass%	0.01224	K-KA	3.2050	1.9351
9	Ca	6.60	mass%	0.01470	Ca-KA	7.3887	3.0208
10	Ti	1.02	mass%	0.01869	Ti-KA	0.3005	0.4665
11	V	0.0622	mass%	0.01971	V-KA	0.0518	0.0285
12	Cr	0.0464	mass%	0.01024	Cr-KA	0.0706	0.0213
13	Mn	0.261	mass%	0.00869	Mn-KA	0.2736	0.1196
14	Fe	12.9	mass%	0.01225	Fe-KA	21.4975	5.9222
15	Ni	0.0451	mass%	0.00539	Ni-KA	0.1048	0.0206
16	Zn	0.0218	mass%	0.00513	Zn-KA	0.0850	0.0100
17	Rb	0.0196	mass%	0.00437	Rb-KA	0.2049	0.0090
18	Sr	0.133	mass%	0.00426	Sr-KA	1.5437	0.0609
19	Zr	0.0321	mass%	0.00481	Zr-KA	1.0303	0.0147

2020-2-7 18:01

SQX Calculation Result							
Sample : 5		Date analyzed : 2020-2-7 16:42					
Application : F-U_Solid_N_286		Sample type : Oxide Powder		Balance :			
		Sample film corr. :		Matching library :			
		File : 5		Impurity corr. :			
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	EL line	Intensity	w/o normal
1	Na	1.63	mass%	0.02377	Na-KA	0.2007	0.8014
2	Mg	2.86	mass%	0.01787	Mg-KA	1.0368	1.4066
3	Al	13.8	mass%	0.01376	Al-KA	20.2874	6.7713
4	Si	49.1	mass%	0.03192	Si-KA	48.6764	24.1394
5	P	0.215	mass%	0.00751	P-KA	0.1451	0.1057
6	S	0.404	mass%	0.00492	S-KA	0.4966	0.1985
7	Cl	0.509	mass%	0.00370	Cl-KA	0.9298	0.2499
8	K	3.51	mass%	0.01282	K-KA	2.9564	1.7264
9	Ca	8.77	mass%	0.01416	Ca-KA	10.9013	4.3098
10	Ti	1.73	mass%	0.02647	Ti-KA	0.5411	0.8491
11	Cr	0.226	mass%	0.00919	Cr-KA	0.1757	0.1109
12	Mn	0.269	mass%	0.01220	Mn-KA	0.2924	0.1324
13	Fe	16.3	mass%	0.00861	Fe-KA	27.5708	7.9972
14	Ni	0.0381	mass%	0.00541	Ni-KA	0.0857	0.0187
15	Zn	0.0246	mass%	0.00503	Zn-KA	0.0926	0.0121
16	Sr	0.124	mass%	0.00449	Sr-KA	1.3780	0.0609
17	Zr	0.0508	mass%	0.00496	Zr-KA	1.1747	0.0250
18	Rh	0.461	mass%	0.06225	Rh-KB1	0.6880	0.2263

2020- 2- 7 18:02

SQX Calculation Result							
Sample : 6		Application : F-U_Solid_N_287			Sample type : Oxide Powder	Date analyzed : 2020- 2- 7 17:02	Balance :
		Sample film corr. :				Matching library :	Impurity corr. :
		File : 6					
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na	1.40	mass%	0.02302	Na-KA	0.1723	0.6570
2	Mg	2.64	mass%	0.01591	Mg-KA	0.9518	1.2406
3	Al	15.5	mass%	0.01363	Al-KA	22.5484	7.2617
4	Si	50.1	mass%	0.03233	Si-KA	47.2720	23.5566
5	P	0.268	mass%	0.00675	P-KA	0.1703	0.1257
6	S	1.23	mass%	0.00537	S-KA	1.4199	0.5762
7	Cl	0.131	mass%	0.00347	Cl-KA	0.2245	0.0618
8	K	3.79	mass%	0.01261	K-KA	3.0211	1.7834
9	Ca	7.86	mass%	0.01421	Ca-KA	9.2620	3.6961
10	Ti	1.27	mass%	0.02271	Ti-KA	0.3828	0.5947
11	Cr	0.0940	mass%	0.00990	Cr-KA	0.0713	0.0442
12	Mn	0.212	mass%	0.01097	Mn-KA	0.2250	0.0997
13	Fe	15.3	mass%	0.01546	Fe-KA	25.5304	7.1976
14	Zn	0.0345	mass%	0.00496	Zn-KA	0.1293	0.0162
15	Sr	0.121	mass%	0.00447	Sr-KA	1.3446	0.0570
16	Zr	0.0615	mass%	0.00490	Zr-KA	1.3956	0.0289

2020-2-7 18:02

SQX Calculation Result							
Sample : 7		Date analyzed : 2020-2-7 17:24					
Application : F-U_Solid_N_288		Sample type : Oxide Powder		Balance :			
		Sample film corr. :		Matching library :			
		File : 7		Impurity corr. :			
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal
1	Na	1.08	mass%	0.02314	Na-KA	0.1319	0.4980
2	Mg	2.64	mass%	0.01661	Mg-KA	0.9490	1.2225
3	Al	17.3	mass%	0.01375	Al-KA	25.0315	8.0139
4	Si	50.9	mass%	0.03280	Si-KA	46.0261	23.5628
5	P	0.218	mass%	0.00605	P-KA	0.1341	0.1011
6	S	0.954	mass%	0.00388	S-KA	1.0666	0.4416
7	Cl	0.133	mass%	0.00318	Cl-KA	0.2198	0.0615
8	K	4.00	mass%	0.01095	K-KA	3.0926	1.8506
9	Ca	4.85	mass%	0.01360	Ca-KA	5.6053	2.2471
10	Ti	1.24	mass%	0.01736	Ti-KA	0.3889	0.5747
11	Cr	0.111	mass%	0.00765	Cr-KA	0.0877	0.0516
12	Mn	0.251	mass%	0.00939	Mn-KA	0.2734	0.1160
13	Fe	16.1	mass%	0.01552	Fe-KA	27.4604	7.4378
14	Ni	0.0378	mass%	0.00569	Ni-KA	0.1290	0.0268
15	Zn	0.0338	mass%	0.00530	Zn-KA	0.1260	0.0156
16	Rb	0.0239	mass%	0.00446	Rb-KA	0.2382	0.0111
17	Sr	0.0997	mass%	0.00438	Sr-KA	1.0994	0.0462
18	Zr	0.0520	mass%	0.00468	Zr-KA	1.1271	0.0241

2020- 2- 7 18:03

SQX Calculation Result								
Sample : 8		Application : F-U_Solid_N_284				Sample type : Oxide Powder		Date analyzed : 2020- 2- 7 15:40
		Sample film corr. : File : 8				Balance :		Matching library :
						Impurity corr. :		
No.	Component	Result	Unit	Det. limit	El. line	Intensity	w/o normal	
1	Na	1.79	mass%	0.02748	Na-KA	0.2203	0.8466	
2	Mg	2.63	mass%	0.01773	Mg-KA	0.9397	1.2464	
3	Al	17.6	mass%	0.01464	Al-KA	25.4117	8.3489	
4	Si	47.3	mass%	0.03109	Si-KA	42.9124	22.3878	
5	P	0.247	mass%	0.00825	P-KA	0.1589	0.1170	
6	S	1.47	mass%	0.00563	S-KA	1.7151	0.6957	
7	Cl	2.72	mass%	0.00434	Cl-KA	4.6428	1.2875	
8	K	3.84	mass%	0.01408	K-KA	2.9760	1.8168	
9	Ca	3.88	mass%	0.01329	Ca-KA	4.5261	1.8364	
10	Ti	1.19	mass%	0.01615	Ti-KA	0.3836	0.5626	
11	Cr	0.0521	mass%	0.00944	Cr-KA	0.0423	0.0247	
12	Mn	0.272	mass%	0.00886	Mn-KA	0.3040	0.1287	
13	Fe	16.7	mass%	0.01485	Fe-KA	29.3208	7.9106	
14	Ni	0.0593	mass%	0.00666	Ni-KA	0.1340	0.0281	
15	Cu	0.0341	mass%	0.00596	Cu-KA	0.0964	0.0161	
16	Zn	0.0447	mass%	0.00538	Zn-KA	0.1687	0.0212	
17	Rb	0.0216	mass%	0.00477	Rb-KA	0.2171	0.0102	
18	Sr	0.0943	mass%	0.00463	Sr-KA	1.0485	0.0446	
19	Zr	0.0471	mass%	0.00477	Zr-KA	1.0700	0.0223	

2. Pengukuran XRD

Qualitative Analysis Results

General information			
Analysis date	2020/02/10 17:58:59	Measurement date	2020/02/07 11:48:39
Sample name	Sampel 1	Operator	administrator
File name	Sampel 1.ris		
Comment			

Qualitative analysis results				
Phase name	Formula	Figure of merit	Phase ref. detail	DB card number
Quartz	O_2Si	0.779	ICDD (PDF2.DAT)	01-078-2315
Crossian Epidote	$\text{Al}_2.2\text{Ca}1.9\text{Cr}0.17\text{Fe}0.49\text{H}\text{O}13\text{Si}3\text{Sr}0.1$	0.652	ICDD (PDF2.DAT)	01-071-1938
Anatase	TiO_2	0.543	ICDD (PDF2.DAT)	01-071-1169
Ferrosilite	$\text{Ca}0.04\text{Fe}1.71\text{Mg}0.25\text{O}6\text{Si}2$	0.633	ICDD (PDF2.DAT)	01-080-1861
Epidote	$\text{Al}_2.17\text{Ca}2\text{Fe}0.81\text{H}\text{O}13\text{Si}3$	0.693	ICDD (PDF2.DAT)	01-076-0823
Crocote	$\text{Cr}\text{O}4\text{Pb}$	0.652	ICDD (PDF2.DAT)	01-083-1466



Qualitative Analysis Results

General information

Analysis date	2020/02/10 18:06:48	Measurement date	2020/02/07 11:43:30
Sample name	Sampel 8	Operator	administrator
File name	Sampel 8.ras		
Comment			

Qualitative analysis results

Phase name	Formula	Figure of merit	Phase ref. detail	DB card number
Quartz	O2 Si	0.749	ICDD (PDF2.DAT)	01-078-2315
Feldspar	Al1.18 Ba0.19 K0.59	0.591	ICDD (PDF2.DAT)	01-076-0823
Titanite	Al Ca F O4 Si	0.620	ICDD (PDF2.DAT)	00-005-0628
Pigeonite	Fe0.39 Mg0.61 O3 Si	0.637	ICDD (PDF2.DAT)	01-075-1092
Albite	Al Na O6 Si3	0.685	ICDD (PDF2.DAT)	01-083-1466
Dietzeite	Ca2 Cr H2 I2 O11	0.601	ICDD (PDF2.DAT)	01-083-0736

Phase data pattern

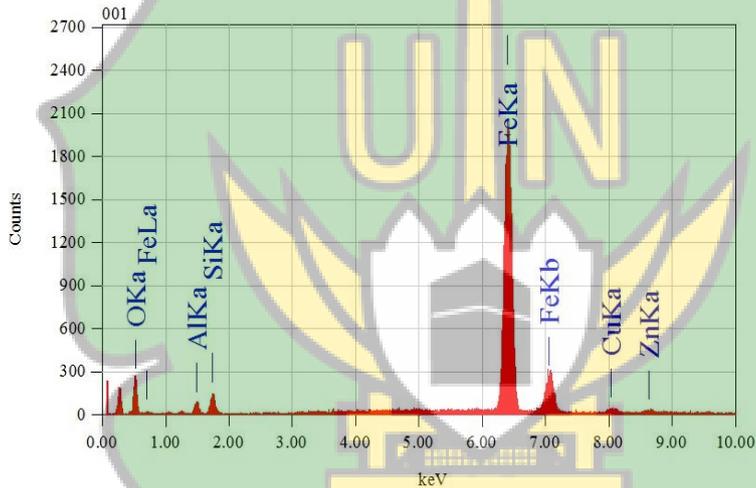


View003

JEOL 1/1



Title : IMG2
 Instrument :
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 3,000
 Date : 2020/02/04
 Pixel : 1280 x 960



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510 (LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current: 7.47500 nA
 PHA mode : T2
 Real Time : 40.68 sec
 Live Time : 40.00 sec
 Dead Time : 1 %
 Counting Rate: 1593 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

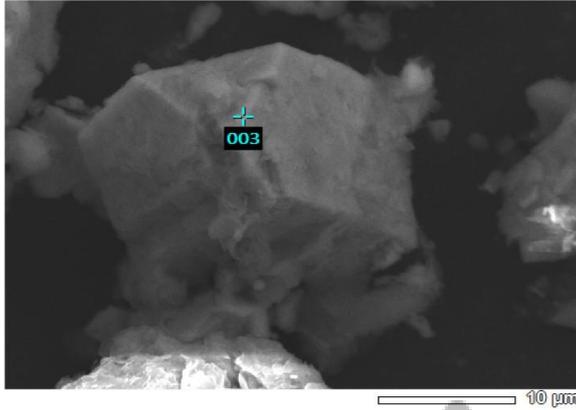
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.0988

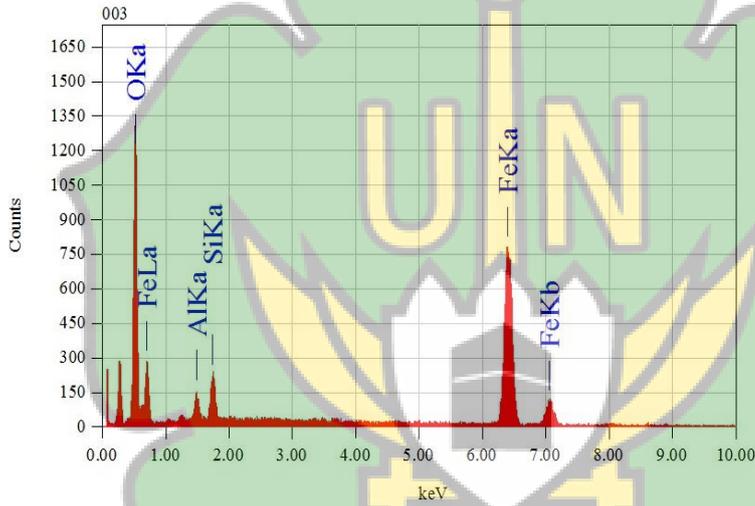
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
O K	0.525	6.79	0.19	19.89				10.1654
Al K	1.486	1.20	0.08	2.08				0.5037
Si K*	1.739	1.68	0.08	2.81				0.9369
Fe K	6.398	85.38	0.72	71.62				84.0788
Cu K	8.040	2.52	0.19	1.86				2.1769
Zn K	8.630	2.43	0.21	1.74				2.1383
Total		100.00		100.00				

View005

JEOL 1/1



Title : IMG2
 Instrument :
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 3,000
 Date : 2020/02/04
 Pixel : 1280 x 960



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510(LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current: 7.47500 nA
 PHA mode : T2
 Real Time : 40.50 sec
 Live Time : 40.00 sec
 Dead Time : 1 %
 Counting Rate: 1210 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

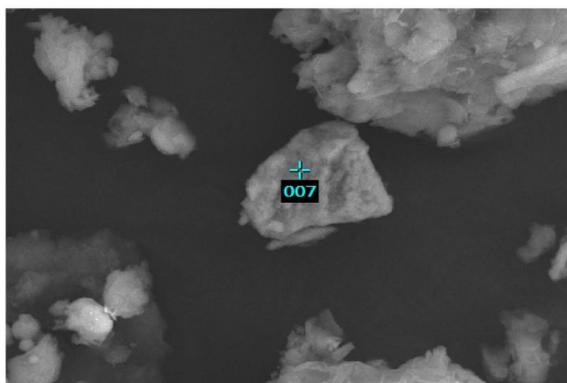
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.1670

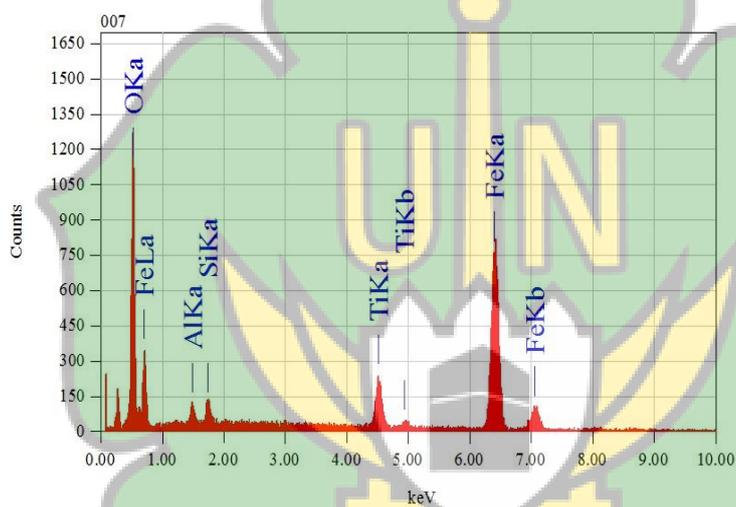
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
O K	0.525	42.53	0.54	70.10				58.0310
Al K	1.486	2.19	0.12	2.14				0.8367
Si K*	1.739	3.56	0.14	3.34				1.7495
Fe K	6.398	51.72	0.70	24.42				39.3827
Total		100.00		100.00				

View009

JEOL 1/1



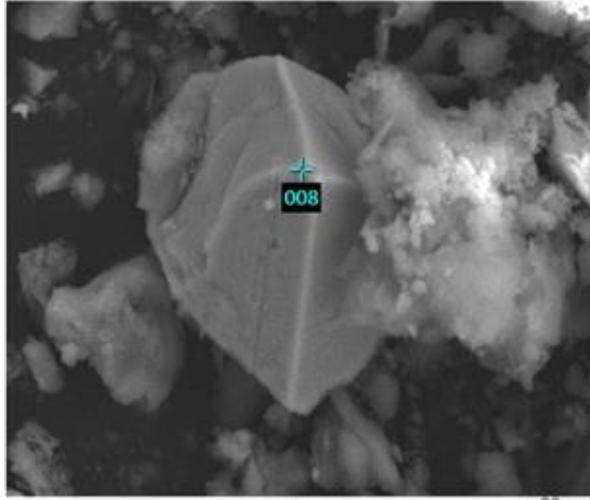
Title : IMG2
 Instrument :
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 3,000
 Date : 2020/02/05
 Pixel : 1280 x 960



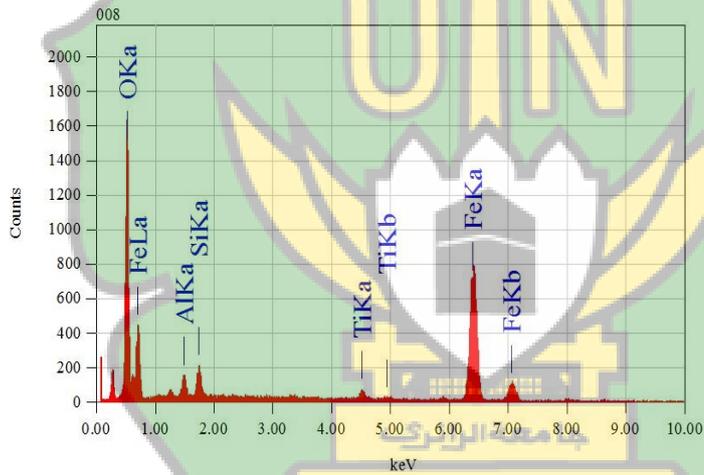
Acquisition Parameter
 Instrument : 6510 (LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current: 7.47500 nA
 PHA mode : T2
 Real Time : 40.62 sec
 Live Time : 40.00 sec
 Dead Time : 1 %
 Counting Rate: 1292 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
 Fitting Coefficient : 0.1342

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
O K	0.525	45.25	0.60	72.92				54.6402
Al K	1.486	1.38	0.10	1.32				0.5937
Si K*	1.739	1.51	0.09	1.38				0.8414
Ti K	4.508	5.66	0.17	3.05				4.9828
Fe K	6.398	46.21	0.63	21.33				38.9419
Total		100.00		100.00				



Title : IMG2
 Instrument :
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 2,500
 Date : 2020/02/05
 Pixel : 1280 x 960



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510 (LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current: 7.47500 nA
 PHA mode : T2
 Real Time : 40.48 sec
 Live Time : 40.00 sec
 Dead Time : 1 %
 Counting Rate: 1327 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

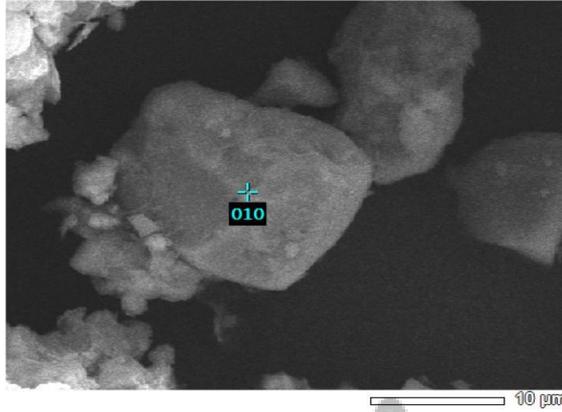
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.1462

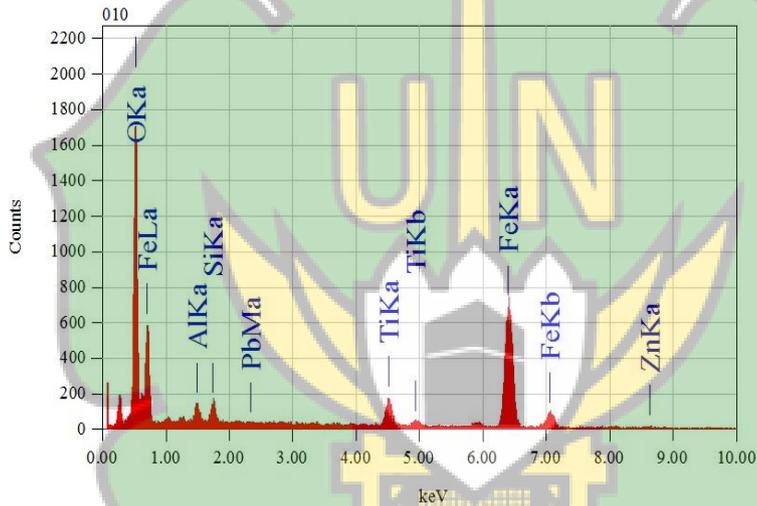
Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
O	0.525	47.61	0.55	74.37				62.3363
Al	1.486	2.03	0.11	1.88				0.7743
Si	1.739	2.54	0.12	2.26				1.2421
Ti	4.508	1.23	0.09	0.64				0.9572
Fe	6.398	46.58	0.63	20.84				34.6901
Total		100.00		100.00				

View012

JEOL 1/1



Title : IMG2
 Instrument :
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 3,000
 Date : 2020/02/05
 Pixel : 640 x 480



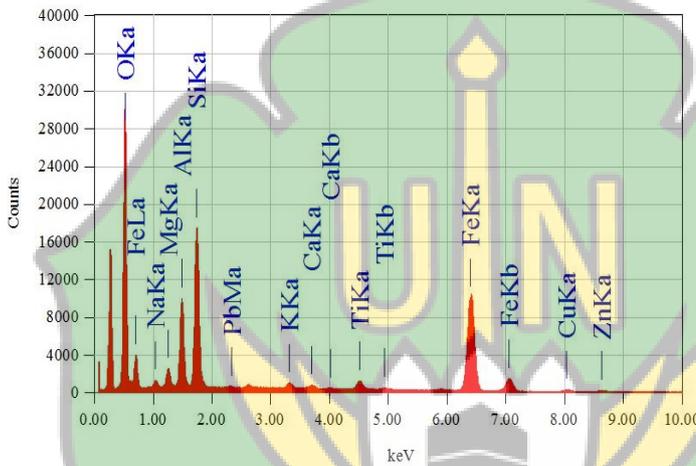
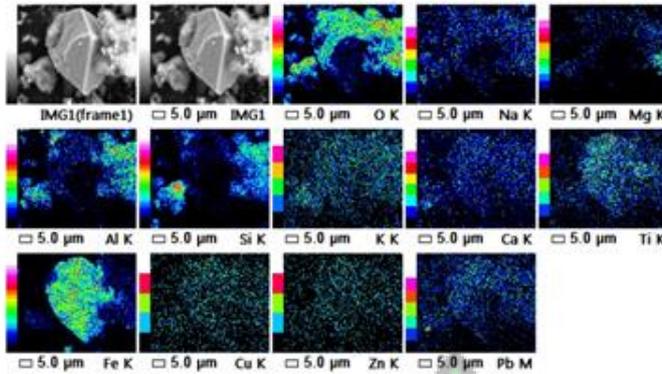
Acquisition Parameter
 Instrument : 6510(LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current: 7.47500 nA
 PHA mode : T2
 Real Time : 40.58 sec
 Live Time : 40.00 sec
 Dead Time : 1 %
 Counting Rate: 1439 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.1386

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
O K	0.525	53.26	0.60	78.67				64.9063
Al K	1.486	1.55	10.10	1.36				0.6272
Si K	1.739	1.67	0.09	1.41				0.8728
Ti K	4.508	4.16	0.14	2.05				3.3328
Fe K	6.398	38.04	0.55	16.10				29.3347
Zn K*	8.630	1.08	0.17	0.39				0.7676
Pb M*	2.342	0.24	0.17	0.03				0.1586
Total		100.00		100.00				

Date : 2/5/202
 Resolution : 256 x 1
 Instrument : 6510(LA)
 Acc. Volt. : 20 kV
 Magnification : x 3,000
 Dwell Time : 0.20 ms
 Sweep Count : 50



Acquisition Parameter
 Instrument : 6510(LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current: 7.47500 nA
 PHA mode : T2
 Real Time : 507.76 sec
 Live Time : 491.52 sec
 Dead Time : 2 %
 Counting Rate: 2145 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2274

Element	(keV)	Mass%	Sigma	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
O K	0.525	48.18	0.13	69.61				61.7525
Na K	1.041	0.87	0.02	0.87				0.3669
Mg K	1.253	1.58	0.02	1.51				0.6309
Al K	1.486	6.45	0.04	5.52				3.2464
Si K	1.739	11.38	0.05	9.36				6.8108
K K	3.312	0.53	0.01	0.32				0.4596
Ca K	3.690	0.30	0.01	-0.17				0.2713
Ti K	4.508	1.20	0.02	0.58				1.0460
Fe K	6.398	27.62	0.10	11.43				23.9140
Cu K	8.040	0.97	0.03	0.35				0.7803
Zn K	8.630	0.70	0.03	0.25				0.5674
Pb M	2.342	0.22	0.04	0.02				0.1540
Total		100.00		100.00				

Lampiran 4. Hasil Analisis Korelasi Pearson

		Ti	Cr
Ti	Pearson Correlation	1	,846**
	Sig. (2-tailed)		,008
	N	8	8
Cr	Pearson Correlation	,846**	1
	Sig. (2-tailed)	,008	
	N	8	8

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

		Ti	Fe
Ti	Pearson Correlation	1	,723*
	Sig. (2-tailed)		,043
	N	8	8
Fe	Pearson Correlation	,723*	1
	Sig. (2-tailed)	,043	
	N	8	8

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

		Zn	Ni
Zn	Pearson Correlation	1	,866*
	Sig. (2-tailed)		,012
	N	8	7
Ni	Pearson Correlation	,866*	1
	Sig. (2-tailed)	,012	
	N	7	7

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

		Ni	XFD
Ni	Pearson Correlation	1	,893**
	Sig. (2-tailed)		,007
	N	7	7
XFD	Pearson Correlation	,893**	1
	Sig. (2-tailed)	,007	
	N	7	8

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

		Lf	Cr
Lf	Pearson Correlation	1	,724*
	Sig. (2-tailed)		,042
	N	8	8
Cr	Pearson Correlation	,724*	1
	Sig. (2-tailed)	,042	
	N	8	8

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

		Zn	XFD
Zn	Pearson Correlation	1	,726*
	Sig. (2-tailed)		,041
	N	8	8
XFD	Pearson Correlation	,726*	1
	Sig. (2-tailed)	,041	
	N	8	8

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

		Lf	XFD
Lf	Pearson Correlation	1	-,746*
	Sig. (2-tailed)		,034
	N	8	8
XF	Pearson Correlation	-,746*	1
	Sig. (2-tailed)	,034	
	N	8	8

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

