

Kode>Nama Rumpun Ilmu* : 134/Geofisika
Bidang Fokus ** : Bidang IX (Teknologi
Manajemen Penanggulangan
Kebencanaan)

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN DISERTASI DOKTOR



**DISTRIBUSI VERTIKAL KARAKTERISTIK MINERAL MAGNETIK DAN
MORFOLOGI SERTA KELIMPAHAN LOGAM BERAT PADA SEDIMEN
DANAU LIMBOTO, GORONTALO**

Ketua Peneliti

Raghel Yunginger, S.Pd, M.Si

NIDN. 0026107704

UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO

Nopember, 2018

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : DISTRIBUSI VERTIKAL KARAKTERISTIK
MINERAL MAGNETIK DAN MORFOLOGI SERTA
KELIMPAHAN LOGAM BERAT PADA SEDIMEN
DANAU LIMBOTO, GORONTALO

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : RAGHEL YUNGINGER, S.Pd, M.Si
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Gorontalo
NIDN : 0026107704
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Fisika
Nomor HP : 085220626075
Alamat surel (e-mail) : yraghel@gmail.com

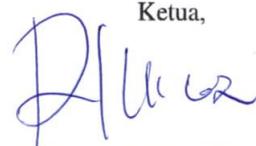
Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 6,0.0,00.,000
Biaya Keseluruhan : Rp 6,0.0,00.,000

Mengetahui,
Dekan FMIPA



(Prof. Dr. Evi Hulukati, M.Pd)
NIP/NIK 196005301986032001

Kota Gorontalo, 11 - 11 - 2018
Ketua,



(RAGHEL YUNGINGER, S.Pd, M.Si)
NIP/NIK 197710262002122003

Menyetujui,
Ketua LPPM



(Prof. Dr. Fenty U Puluhulawa, SH., M.Hum)
NIP/NIK 196804091993032001

RINGKASAN

Metode kemagnetan batuan merupakan salah satu metode yang relatif efektif dan reliabel dalam mengasesmen perubahan lingkungan dibandingkan dengan metode kimia yang relatif lama dan mahal. Namun penerapan metode ini masih sebatas dimanfaatkan di negara-negara sub tropis yang lebih intensif menerima sedimen dari kontribusi aktivitas manusia (antropogenik) daripada dari proses alamiah yaitu dari pelapukan batuan (litogenik). Sementara di negara tropis-vulkanik seperti di Indonesia, metode ini belum dimanfaatkan secara meluas untuk mengidentifikasi perubahan kondisi lingkungan perairan danau. Padahal sebagai *proxy indicator*, maka metode kemagnetan batuan ini dapat digunakan untuk membantu mengidentifikasi dan mengasesmen perubahan lingkungan danau yang telah terdegradasi seperti di Danau Limboto, Gorontalo. Saat ini kondisi lingkungan perairan Danau Limboto telah mengalami degradasi serius dengan laju sedimentasi yang intensif, bahkan pemerintah Indonesia telah menyatakan bahwa Danau Limboto sebagai salah satu dari 15 danau kritis lingkungannya. Seiring dengan tekanan aktivitas penduduk, maka sedimentasi makin meningkat dan sumber sedimentasi di Danau Limboto tidak hanya dikontrol oleh komponen alamiah (litogenik) saja tetapi juga oleh komponen antropogenik. Untuk itu perlu diidentifikasi mana sedimen yang berasal dari litogenik dan mana yang berasal dari antropogenik berdasarkan parameter magnetik. Kajian ini merupakan keterbaruan karena studi kemagnetan batuan ini belum dilakukan di Danau Limboto yang merupakan danau kritis dengan latar belakang daerah tropik dan bukan di daerah industri. Disamping itu keterbaruan lainnya adalah akan diperoleh metode yang relative efektif, ekonomis dan reliabel dalam memilah kontribusi litogenik dan antropogenik pada sedimen danau, sehingga meningkatkan kualitas dan objektivitas terhadap ERA (*environmental risk assessment*) pada pencemaran di wilayah perairan. Untuk itu dilakukan pengambilan sampel sedimen permukaan dan sedimen *core* Danau Limboto dan juga sedimen sungai yang berkontribusi mensuplai sedimen ke danau. Selanjutnya sampel sedimen danau dan sungai dikaji karakteristik kemagnetannya melalui serangkaian pengukuran magnetik dan pengukuran non magnetik (XRD, REE, logam berat, dan SEM-EDX). Hasil-hasil penelitian ini telah digunakan sebagai isi disertasi dan juga telah dipublikasikan melalui jurnal internasional bereputasi yaitu jurnal Geosciences-MDPI. Disamping itu sebagian hasil penelitian ini telah dipublikasikan juga pada temu ilmiah internasional yaitu PEDISGI dan SEACG. Capaian penelitian dan keluaran yang telah direncanakan dalam proposal skim penelitian Disertasi Doktor ini secara umum sudah tercapai dan hasil-hasil kajian pada penelitian ini telah menyempurnakan disertasi peneliti. Kontribusi akhir dari seluruh kegiatan penelitian ini telah mendorong peneliti menyelesaikan seluruh serangkaian penelitian disertasi sesuai dengan arahan promotor dan co-promotor pada program studi doctor Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung. Secara ilmiah hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan tentang *tools* alternatif untuk mengasesmen kualitas perairan danau yang mengalami degradasi akibat aktivitas manusia dan berpotensi menimbulkan bencana alam, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan objektivitas terhadap ERA (*environmental risk assessment*).

Kata kunci: Danau Limboto, sedimen danau, litogenik, antropogenik, kemagnetan batuan, mineral magnetik

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan kelancaran dalam proses penelitian dan penyelesaian laporan kemajuan ini. Seiring berjalannya penelitian ini, tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi atas dukungan finansial terhadap penelitian. Disamping itu penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing disertasi di tempat studi yaitu Institut Teknologi Bandung yang telah intensif mengarahkan sehingga penelitian disertasi ini dapat berjalan sesuai dengan norma-norma akademik.

Semoga hasil-hasil penelitian ini, berupa makalah di jurnal internasional dan juga kolaborasi dalam diskusi ilmiah internasional dapat bermanfaat dalam menambah khasanah ilmu pengetahuan dan bagi pengembangan keilmuan geofisika di Indonesia.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	8
BAB 4. METODE PENELITIAN	9
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	20
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	27

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rencana target capaian tahunan	3
Tabel 2. <i>Road map</i> penelitian	7

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Peta Danau Limboto dengan area pemukiman berwarna orange dan sungai utama sebagai inlet danau di bagian Barat dan Utara danau	9
Gambar 4.2	Peta 17 titik pengambilan sedimen permukaan Danau Limboto. Titik 1-9, 12 dan 13 adalah sampel di area <i>Residential</i> -R (●), sedangkan titik 10, 11, 14-17 adalah sampel di area <i>Non Residential</i> -NR (▲).	10
Gambar 4.3	Peta titik tiga sampel sedimen <i>core</i> di Danau Limboto (●), dan pengambilan sampel sedimen sungai (▲) di bagian hulu dan hilir Sungai Alopohu, Biyonga dan Talubongo.	10
Gambar 4.4	Ilustrasi cara pengambilan sampel sedimen <i>core</i> menggunakan <i>Gravity Core</i> (a, b) (Sumber: www.uwitec.at), dan (c) bentuk sampel sedimen <i>core</i> dan bagian yang dipotong sebesar 2 cm (sumber: penulis).	11
Gambar 4.5	Proses pengambilan sampel sedimen <i>core</i> di Danau Limboto.	12
Gambar 4.6	(a) Sampel sedimen <i>core</i> yang berhasil diperoleh dari Danau Limboto, (b) ukuran dan profil sedimen <i>core</i> yang diperoleh.	12
Gambar 4.7	Proses pengambilan sampel sedimen sungai.	13
Gambar 4.8	Preparasi sampel, (a) Sedimen disaring dengan saringan 325 <i>mesh</i> untuk mendapatkan partikel <i>clay</i> yang homogen, (b) sedimen diendapkan setelah disaring.	13
Gambar 4.9	Proses preparasi sampel, (a) sampel dikeringkan, (b) sampel kering dihaluskan, (c) sampel yang sudah dihaluskan untuk pengukuran kemagnetan, (d) sampel yang sudah dihaluskan untuk pengukuran non-magnetik.	14
Gambar 4.10	Preparasi ekstrak sampel, (a) proses ekstrak mineral magnetik, (b) alat <i>magnetic stirrer</i> untuk ekstrak mineral magnetik, (c) mineral magnetik yang dihasilkan dari ekstrak.	14
Gambar 4.11	Alat pengukuran parameter magnetik. (a) <i>Suseceptibility meters</i> Bartington MS2B, (b) <i>Molspin AF demagnetizer</i> , (c) <i>spinner fluxgate magnetometer</i> , (d) Kumparan Weiss.	16
Gambar 4.12	Pengukuran metode non magnetik, (a) pengukuran XRD, (b) analisis SEM-EDX, (c) pengukuran konsentrasi logam berat dengan AAS, (d-e) Pengukuran REE menggunakan ICP-OES.	17
Gambar 4.13	Metode pengukuran dan Informasi yang diperoleh dari analisis data.	19

Gambar 5.1 Bentuk dan ukuran bulir mineral magnetik pada sampel *core* 22
(a) sampel sedimen *core* dekat inlet kedalaman 0-60 cm, (b) sampel sedimen *core* dekat inlet kedalaman 70-100 cm, (c) sampel sampel sedimen *core* di bagian tengah danau kedalaman 0-70 cm, (d) sampel sedimen di bagian tengah danau kedalaman 70-100 cm, (e) sampel sedimen *core* di bagian relatif dekat dengan pemukiman 0-70 cm, (f) sampel sedimen *core* di bagian relatif dekat pemukiman kedalaman 70-100 cm.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Bukti luaran yaitu halaman depan paper yang sudah dipublikasikan oleh Jurnal Internasional bereputasi (Q1) yaitu Jurnal Geosciences – MDPI.	27
Lampiran 2	Bukti luaran yaitu <i>acceptance letter</i> pada seminar internasional yaitu <i>Padjadjaran Earth Dialogues: International Symposium on Geophysical Issues (PEDISGI)</i> .	28
Lampiran 3	Bukti luaran yaitu <i>acceptance latter</i> seminar internasional <i>Southeast Asian Conference on Geophysics (SEACG) 2018</i> .	29

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan keadaan lingkungan dan tingkat kualitasnya merupakan sektor penting bagi pemerintah dalam menjaga keseimbangan ekologi demi menjamin kenyamanan hidup masyarakat. Salah satu metode yang relatif efektif dan reliabel dalam mengasesmen perubahan lingkungan yaitu metode kemagnetan batuan dibandingkan dengan metode kimia yang relative lama dan mahal (Thompson dkk, 1975; Dearing, 1999). Metode ini dapat menggunakan objek tanah (Liu dkk, 2016, Zong dkk, 2017), lindi (Bijaksana dan Huliselan, 2010), sedimen sungai dan sedimen danau (Jordanova dkk, 2004; Yang dkk, 2009; Hayasida dkk, 2015). Metode ini dilakukan untuk mengukur parameter magnetik yang sifat-sifat mineral magnetiknya mencerminkan perubahan keadaan lingkungan sekaligus menunjukkan status kualitas lingkungan. Karakteristik mineral magnetik dapat merekam dengan baik perubahan keadaan lingkungan karena variasi karakteristiknya tergantung keadaan lingkungan pembentuknya. Oleh karenanya parameter kemagnetan menjadi *proxy* indikator faktor-faktor yang mempengaruhi keadaan lingkungan termasuk keadaan lingkungan perairan danau.

Namun penerapan metode kemagnetan batuan khususnya di lingkungan perairan danau lebih umum digunakan di negara-negara sub tropik dengan kandungan mineral magnetik lebih tinggi berasal dari limbah aktivitas manusia (antropogenik) daripada hasil pelapukan batuan (litogenik). Sifat atau karakteristik mineral magnetik pada wilayah-wilayah tersebut secara jelas menunjukkan adanya hubungan yang kuat dengan kelimpahan logam berat dari antropogenik (Ortega dkk, 2006, Yang dkk, 2009, Bao dkk, 2011). Sementara metode ini belum dimanfaatkan secara meluas untuk mengidentifikasi karakteristik mineral magnetik di danau yang berada di daerah tropik-vulkanik seperti Indonesia dengan pelapukan batuan yang lebih intensif (litogenik) dibandingkan dengan kontribusi komponen antropogenik. Lebih khusus identifikasi karakteristik mineral magnetik belum dilakukan di danau kritis seperti di Danau Limboto, Gorontalo yang berada di daerah yang tidak memiliki aktivitas industri. Sementara Danau Limboto telah dinyatakan

sebagai salah satu dari 15 danau kritis lingkungannya oleh pemerintah dan diprioritaskan untuk mendapatkan program penyelamatan (Trisakti dkk, 2014).

Danau Limboto telah mengalami sedimentasi yang cepat sejak Tahun 1990 dan saat ini luas danau hanya menyisakan sekitar 3.000 Ha dari 7.000 Ha, dengan rata-rata kedalaman air hanya sekitar 2,5 meter dari 30 meter (BALIHRISTI Provinsi Gorontalo, 2009; Putra dkk, 2013). Padahal Danau Limboto merupakan aset sumber daya alam masyarakat Gorontalo yang dimanfaatkan untuk kegiatan ekonomi, sumber pengairan, obyek wisata dan sumber air bersih. Di sektor lingkungan danau ini difungsikan sebagai penyeimbang ekologi diantaranya untuk pengendali bencana banjir, tempat kehidupan dan perlindungan *biodiversity*, bahkan sebagai laboratorium alam bagi pelajar dan peneliti.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan diteliti adalah bagaimana karakteristik mineral magnetik, morfologi dan kelimpahan logam berat yang terdapat di sedimen Danau Limboto ? Dari hasil studi ini akan dapat diperoleh karakteristik mineral magnetik, morfologi dan geokimia yang mencerminkan interaksi komponen litogenik dan antropogenik yang menyebabkan penurunan kualitas Danau Limboto.

1.3 Kebaruan

Sejauh ini identifikasi karakteristik mineral magnetik sebagai *proxy* indikator faktor penyebab kerusakan lingkungan danau telah banyak dilakukan di negara-negara sub tropik yang memiliki aktivitas industri yang tinggi. Umumnya karakteristik mineral magnetik berkorelasi kuat dengan kelimpahan logam berat dari antropogenik yang dapat menjelaskan secara jelas penyebab penurunan kualitas lingkungan danau. Disamping itu pada sedimen yang mengandung mineral magnetik dapat diidentifikasi morfologi bulir mineral magnetik yang merupakan tipe komponen litogenik dan antropogenik. Kombinasi metode kemagnetan dan non magnetik (analisis morfologi dan geokimia) maka menjadi keterbaruan dalam kajian sedimen di Danau Limboto. Disamping itu keterbaruan lainnya adalah akan diperoleh metode yang relative efektif, ekonomis dan reliabel dalam memantau tingkat kualitas lingkungan perairan danau di daerah tropik dan berpotensi memicu bencana lingkungan.

1.3 Rencana Target Capaian Tahunan

Adapun rencana capaian pada penelitian ini disajikan seperti pada Table 1 di bawah ini:

Tabel 1. Rencana target capaian tahunan

No.	Jenis Luaran				Indikator Capaian		
	Kategori	Sub Kategori	Wajib	Tambahan	Ts ¹	Ts ²	Ts ³
1.	Artikel ilmiah dimuat di jurnal ²⁾	Internasional bereputasi	√		Accepted/ Published	Tidak ada	Tidak ada
		Nasional terakreditasi		√	Draft	Tidak ada	Tidak ada
2.	Artikel ilmiah dimuat di prosiding ³⁾	Internasional terindeks			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Nasional			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
3.	<i>Invited speaker</i> dalam temu ilmiah ⁴⁾	Internasional			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Nasional			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
4.	<i>Visiting lecturer</i>	Internasional			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
5.	Hak Kekayaan Intelektual (HKI) ⁶⁾	Internasional			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Paten			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Paten sederhana			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Hak Cipta			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Merek dagang			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Rahasia dagang			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Desain produk industri			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Indikasi geografis			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Perlindungan varietas tanaman			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		Perlindungan topografi sirkuit terpadu			Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
6.	Teknologi Tepat Guna ⁷⁾				Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
7.	Model/Purwarupa/Desain/Karya Seni/Rekayasa Sosial ⁸⁾				Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
8.	Bahan ajar ⁹⁾				Tidak ada	-	-
9.	Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT) ¹⁰⁾				Skala 3		

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik mineral magnetik bersumber dari komponen litogenik dan antropogenik pada sedimen (*State of The Art*)

Sifat mineral magnetik pada sedimen danau dapat bersumber dari proses alam yaitu proses pelapukan batuan dan tanah sekitar danau yang lazim disebut komponen litogenik dan sumber mineral magnetik yang berasal dari polutan aktivitas manusia atau antropogenik (Dunlop dan Odzemir, 1997; Evans dan Haller, 2003; Peck dkk, 2004). Sifat-sifat mineral magnetik yang bersumber dari komponen litogenik dan antropogenik tersebut dapat teridentifikasi melalui parameter kemagnetan. Kontribusi mineral magnetik yang berasal dari antropogenik sebagai tambahan dari mineral magnetik litogenik pada sedimen danau telah diketahui memberikan perubahan terhadap karakteristik magnetik dari sedimen danau (Hirt dkk, 2003, Richerson dkk, 2008; dan Zeng dkk, 2015).

Sumber-sumber mineral magnetik antropogenik pada sedimen danau telah diidentifikasi misalnya oleh Pozza dkk (2004) di Danau Ontario, Canada, Li dkk, (2006) di Danau White, USA, Yang dkk, 2009 di Danau East Wuhan, Cina; Bao dkk (2011) di Danau Gonghai, Cina, dan Cárdenas dkk, (2016) di Danau Chapala, Mexico. Secara umum, kajian-kajian tersebut menunjukkan bahwa mineral magnetik antropogenik yang masuk ke danau melalui aliran sungai, erosi, maupun banjir dapat mempengaruhi kualitas danau dan terendapkan secara terus menerus. Adanya kehadiran logam berat seperti unsur Cd, Pb, Cr, mengindikasikan asal usul komponen antropogenik. Sumber antropogenik dapat berasal dari industri dan limbah domestik, alih fungsi lahan di perkotaan, *logging* dan *deforestation*, limbah aktivitas pertanian, air limpasan, lindi dari tempat pembuangan akhir (TPA) sampah perkotaan (Bijaksana dan Huliselan, 2010; Huliselan dkk, 2010; Guo dkk, 2015).

Sementara karakteristik mineral magnetik bersumber dari pelapukan batuan atau komponen litogenik telah dilakukan pada sedimen danau seperti di Danau Bear Idaho, Amerika Serikat yang menunjukkan tingginya suseptibilitas magnetik. Tingginya nilai suseptibilitas magnetik ini ternyata dipengaruhi oleh jenis litologi dari *catchman* area di group pegunungan Uinta yang berhubungan dengan Sungai Bear Idaho (Rosenbaum dan Heil, 2009). Pada studi terbaru yang dilakukan Aidona dkk, (2016) menemukan adanya

domain *single domain* (SD) yang diikuti dengan peningkatan suseptibilitas magnetik mineral ferrimagnetik magnetit yang sama dengan ditemukan pada tahun sebelumnya (Yang dkk, 2007, Tamuntuan dkk, 2015,).

Bahkan pada penelitian lain menunjukkan bahwa sifat mineral magnetik dari sedimen *core* Danau Wuhan. Cina dengan panjang 16-48 cm menunjukkan bahwa karakteristik mineral magnetic χ , ARM dan SIRM bagian lapisan bawah (mulai pada kedalaman 14 cm) relative sama dan stabil (Yang dkk, 2009). Mineral magnetik pada bagian bawah *core* sedimen merupakan mineral magnetik *magnetite* dengan ukuran bulir halus 0,02 μm (superparamagnetik - SP) dengan morfologi mineral *magnetite* berbentuk tetrahedral dan oktahedral yang menunjukkan sifat murni dari mineral batuan (litogenik). Disamping itu pada zona ini ditemukan rendahnya kandungan logam berat dan bahan organik yang menunjukkan bahwa lingkungan pada saat pengendapan sedimen tersebut relative bersih dari bahan pencemar. Sementara tingginya korelasi antara χ_{LF} dan χ_{FD} % mencerminkan bahwa bulir SP pedogenik besar kontribusinya untuk meningkatkan magnetik pada sampel dan juga mengindikasikan adanya peningkatan input litogenik (Zong dkk, 2017).

Penjelasan dari beberapa studi di sub tropik di atas memperjelas bahwa pada dasarnya sumber mineral magnetik litogenik merupakan sumber mineral dari pelapukan batuan yang tererosi dan tertransportasikan hingga mengendap di danau. Kehadiran mineral magnetik ferrimagnetik kelas besi titanium oksida terutama magnetit, hematit, Ti-magnetite dan Ti-hematite dengan ukuran bulir SP dan SD menunjukkan adanya kontribusi mineral komponen litogenik. Sedangkan mineral magnetik yang berasal dari antropogenik adalah mineral magnetik karena material buangan atau polutan dari aktivitas manusia, seperti polutan industri, pembakaran batu bara, pembakaran hutan, illegal maining, serta sampah masyarakat. Kekhasan dari mineral yang dipengaruhi oleh antropogenik ini cenderung mineral *magnetite* dengan morfologi mineral magnetik membentuk bulir bulat.

2.2 Studi Pendahuluan dan Hasil yang Sudah Dicapai

Studi pendahuluan yang telah dilakukan adalah pemetaan pola persebaran karakteristik mineral magnetik pada sedimen permukaan Danau Limboto pada Tahun 2016-2017. Karakteristik mineral magnetik dipetakan secara lateral untuk melihat zona-

zona karakteristik mineral magnetik yang berasal dari komponen litogenik dan antropogenik atau karakteristik mineral magnetik yang berasal dari pelapukan batuan dan yang berasal dari polutan akibat aktivitas manusia. Hasil kajian ini telah dipublikasikan pada seminar internasional *1st Geo Electromagnetics*, 2017 di ITB. Namun kajian ini masih membutuhkan analisis berbagai metode yang dapat meyakinkan hasil temuan dan juga masih perlu kajian-kajian pada sedimen core Danau Limboto, sehingga dapat ditemukan metode baru dan informasi baru yang memperlihatkan karakteristik mineral magnetik berdasarkan fungsi waktu yang mencerminkan perubahan-perubahan keadaan lingkungan danau dan tingkat kualitas lingkungannya.

2.3 Peta Jalan (*Road Map*) Penelitian

Kajian karakteristik mineral magnetik yang menggunakan metode kemagnetan batuan merupakan studi yang cukup luas dalam bidang geomineralogi. Proposal yang diusulkan ini merupakan bagian dari cerminan konsistensi dan perkembangan penelitian serta *road map* dari tim peneliti dalam lingkup kemagnetan batuan yang dapat diringkas pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. *Road map* penelitian

2015 – 2016	2016 - 2017	2017 -2018	2018 - 2019
<p>Program : Studi pendahuluan mengenai kajian karakteristik mineral magnetik yang berasal dari komponen litogenik dan antropogenik</p>	<p>Program : Kajian pengembangan metodologi dan teknik survey sedimen permukaan Danau Limboto berdasarkan parameter kemagnetan</p>	<p>Program : Pola penyebaran lateral karakteristik mineral magnetik dan non-magnetik pada sedimen permukaan Danau Limboto</p>	<p>Program : Kajian distribusi vertikal karakteristik mineral magnetik, morfologi dan logam berat pada sedimen <i>core</i> Danau Limboto</p>
<p>Kegiatan :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kajian literatur untuk metodologi kemagnetan batuan dan karakteristik mineral magnetik pada sedimen • Melakukan survey awal dan mengumpulkan data-data sekunder yang terkait dengan lingkungan perairan Danau Limboto. 	<p>Kegiatan :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengembangan metodologi untuk mendapatkan karakteristik mineral magnetik berasal dari litogenik dan antropogenik pada sedimen danau • Pengambilan sampel sedimen permukaan di 17 titik sepanjang perairan Danau Limboto. 	<p>Kegiatan :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengukuran, analisis, dan interpretasi parameter magnetik dan non-magnetik pada sedimen Danau Limboto • Publikasi hasil penelitian di jurnal internasional yang bereputasi, dan publikasi di seminar internasional. 	<p>Kegiatan :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengambilan sedimen <i>core</i> di Danau Limboto. • Pengukuran, analisis, interpretasi parameter magnetik dan non-magnetik sedimen <i>core</i> Danau Limboto • Publikasi hasil penelitian di jurnal internasional, dan publikasi di seminar internasional • Penyusunan disertasi

2.4 Kontribusi dan Kebaruan yang Akan Dihasilkan

Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi informasi baru baik secara lateral maupun secara vertikal tentang adanya variasi karakteristik mineral magnetik yang didukung oleh metode non magnetik untuk dapat membedakan komponen litogenik dan antropogenik pada sedimen permukaan dan perlapisan sedimen *core*. Dengan demikian parameter magnetik dan non magnetik ini dapat mengungkapkan faktor-faktor lingkungan yang berperan terhadap proses sedimentasi Danau Limboto (Sumber sedimen, kontribusi *human activity*, proses transportasi, proses pengendapan dan pedogenesis). Disamping itu keterbaruan dari hasil kajian ini dapat memberikan gagasan baru tentang kemampuan metode kemagnetan dalam menentukan pola proses atau mekanisme sedimentasi yang dipengaruhi oleh komponen litogenik dan antropogenik di Danau Limboto, dan secara global dapat menemukan alternatif metodologi yang sesuai dan efektif serta akurat dalam membedakan mineral magnetik oleh litogenik dan antropogenik pada sedimen danau di daerah tropik-vulkanik.

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT

3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi sifat atau karakteristik mineral magnetik dan morfologi mineral magnetik serta kelimpahan logam berat di profil sedimen Danau Limboto.
2. Memetakan pola distribusi vertikal karakteristik mineral magnetik dan morfologi serta kelimpahan logam berat di sedimen Danau Limboto.

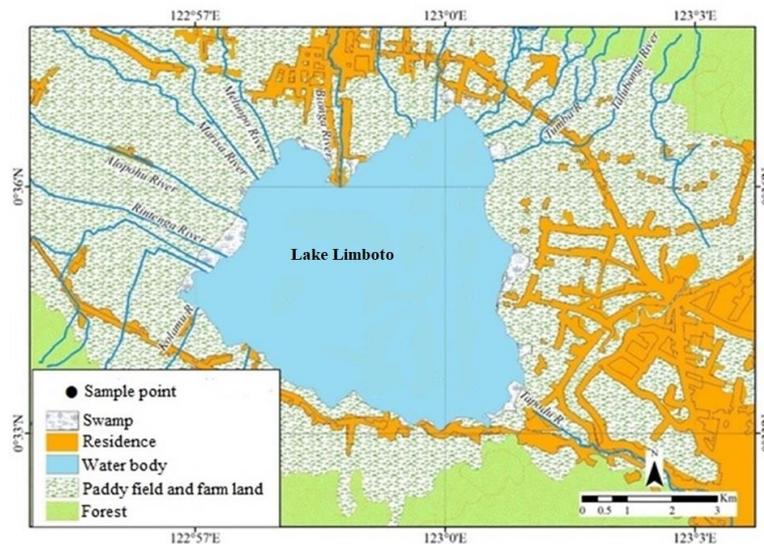
3.2. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu menemukan metoda alternatif yang lebih efektif dan reliabel dalam pemantauan (monitoring) polusi di lingkungan perairan danau kritis di daerah tropik yang rendah aktivitas industri. Secara khusus manfaat penelitian ini dapat memberikan gagasan baru tentang kemampuan metode kemagnetan untuk dapat membedakan komponen litogenik dan antropogenik pada sedimen Danau Limboto, dan secara global dapat menemukan alternatif metodologi yang sesuai dan efektif serta akurat dalam membedakan mineral magnetik oleh litogenik dan antropogenik pada sedimen danau di daerah tropik-vulkanik. Selain itu, pemanfaatan penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkini/aktual tentang tingkat polusi saat ini di Danau Limboto yang berpotensi memicu bencana lingkungan. Dengan demikian faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan lingkungan dan penurunan kualitas lingkungan perairan danau kritis di daerah tropik seperti Danau Limboto dapat diminimalisir dan dapat dipulihkan fungsinya.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Danau Limboto berada di pulau Sulawesi bagian utara, Gorontalo, Indonesia (Gambar 4.1). Saat ini Danau Limboto memiliki luas sekitar 3 Ha, dengan rata-rata kedalaman air sekitar 2,5 meter. Secara administrasi sekitar 70 % wilayah Danau Limboto berada di daerah Kabupaten Gorontalo dan 30 % berada di wilayah Kota Gorontalo. Pada Gambar 4.1 menunjukkan peta Danau Limboto, badan perairan danau ditunjukkan dengan area biru muda. Sungai sebagai inlet Danau Limboto diberi garis tipis warna biru yaitu Sungai Biyonga, Sungai Meluopo, Sungai Marisa, dan Sungai Alo Puhu, dan hanya terdapat satu outlet yaitu Sungai Tapodu yang mengalir ke Teluk Gorontalo.

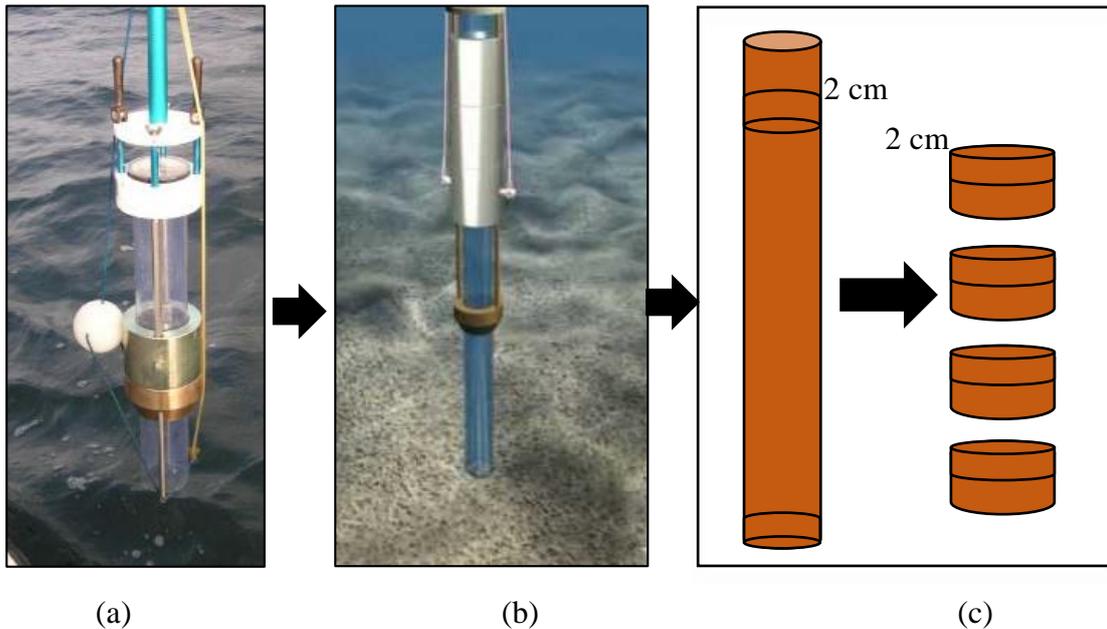


Gambar 4.1 Peta Danau Limboto dengan area pemukiman berwarna orange dan sungai utama sebagai inlet danau di bagian Barat dan Utara danau

Kegiatan penelitian dilakukan di Danau Limboto dan sungai di sekitarnya sebagai inlet Danau Limboto, Gorontalo. Sampel sedimen permukaan Danau Limboto yang berhasil diambil adalah 17 titik sampel (Gambar 4.2), sedangkan sedimen *core* Danau Limboto yang telah berhasil diambil adalah tiga titik yaitu titik dekat muara sungai (titik 1), titik di tengah danau (titik 2) dan titik yang relatif dekat dengan pemukiman (titik 3) (Gambar 4.3). Sedangkan untuk sampel sedimen sungai yang bermuara ke Danau Limboto diambil pada bagian hulu dan hilir sungai Alopohu, Biyonga, dan Talubongo (Gambar 4.1).

4.2 Teknik *Sampling*

Tahapan penelitian diawali dengan persiapan yang meliputi kajian literatur (termasuk peta geologi), orientasi lapangan (akses terhadap lokasi, pengurusan ijin penelitian dan pendekatan pada masyarakat) serta persiapan peralatan dan logistik. Tahap berikutnya adalah tahap survey dan pengambilan sampel *core* sedimen yang menggunakan *gravity core* di Danau Limboto (Gambar 4.4,a dan b).



Gambar 4.4. Ilustrasi cara pengambilan sampel sedimen *core* menggunakan *Gravity Core* (a, b) (Sumber: www.uwitec.at), dan (c) bentuk sampel sedimen *core* dan bagian yang dipotong sebesar 2 cm (sumber: penulis)

Selanjutnya sampel dipreparasi dengan memotong setiap 2 cm agar diperoleh data dengan tingkat resolusi tinggi (Gambar 4.2, c). Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam *holder plastic* yang mempunyai volume $\pm 10 \text{ cm}^3$. Pada tahap selanjutnya dilakukan serangkaian pengukuran parameter magnetik dan geokimia untuk menentukan karakteristik magnetik sampel. Berikut proses kegiatan penelitian yang telah dilaksanakan di lapangan dan juga di laboratorium.

1. Pelaksanaan pengambilan sampel sedimen *core* di Danau Limboto menggunakan *gravity core*



Gambar 4.5 Proses pengambilan sampel permukaan dan sedimen *core* di Danau Limboto

2. Kedalaman sedimen *core* yang diperoleh sekitar 1 meter yang selanjutnya dipotong-potong 2 cm.



Gambar 4.6 (a) Sampel sedimen *core* yang berhasil diperoleh dari Danau Limboto, (b) ukuran dan profil sedimen *core* yang diperoleh.

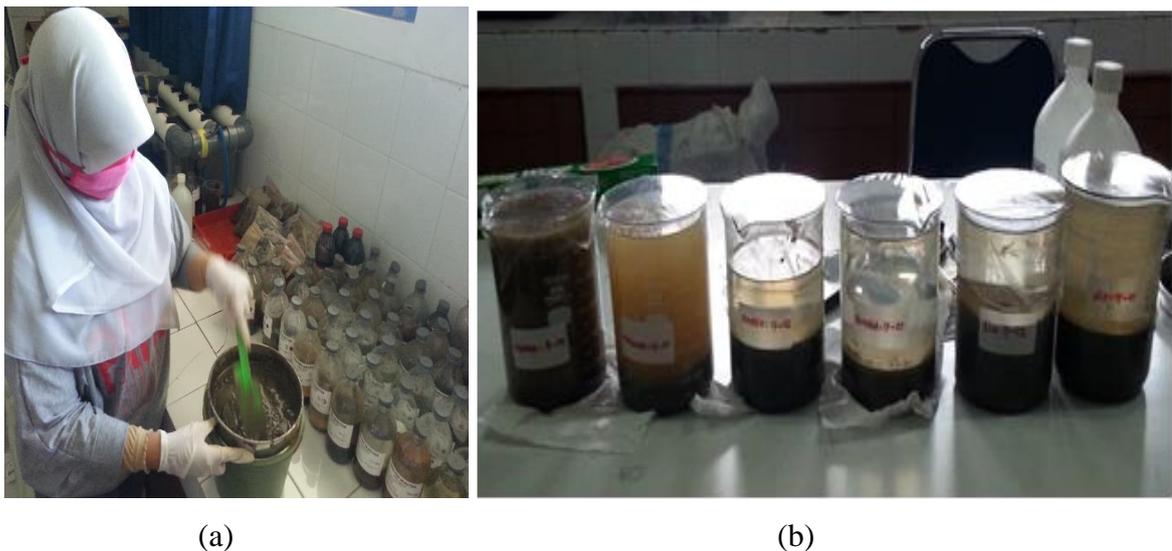
3. Dilakukan juga pengambilan sampel sedimen di bagian hulu dan hilir sungai yang digunakan menjadi pembandingan data pada pengukuran sampel *core* Danau Limboto.



Gambar 4.7 Proses pengambilan sampel sedimen sungai

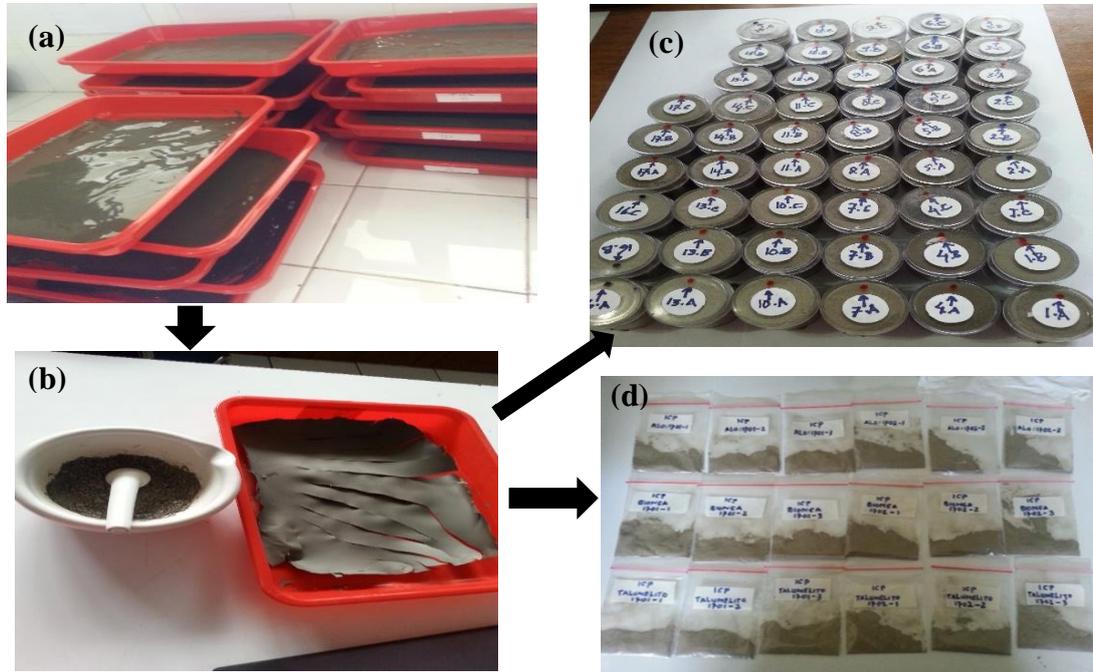
4.3 Preparasi Sampel di Laboratorium

Sampel yang telah diperoleh dari lapangan telah dipreparasi di Laboratorium Karakterisasi dan Pemodelan Sifat Fisis Batuan, ITB. Sebelum pengukuran parameter magnetik dan non magnetik, sampel sedimen sungai terlebih dahulu dipreparasi. Sedimen disaring dengan menggunakan saringan *325 mesh* untuk mendapatkan partikel berukuran $\leq 44 \mu\text{m}$ dan homogen yang selanjutnya diendapkan (Gambar 7).



Gambar 4.8 Preparasi sampel, (a) Sedimen disaring dengan saringan *325 mesh* untuk mendapatkan partikel *clay* yang homogen, (b) sedimen diendapkan setelah disaring.

Selanjutnya sampel-sampel diayak selanjutnya dikeringkan dengan cara diangin-anginkan pada suhu kamar, dan selanjutnya dihaluskan sehingga berbentuk *bulk*.



Gambar 4.9 Proses preparasi sampel, (a) sampel dikeringkan, (b) sampel kering dihaluskan, (c) sampel yang sudah dihaluskan untuk pengukuran kemagnetan, (d) sampel yang sudah dihaluskan untuk pengukuran non-magnetik.

Disamping itu sebagian sampel yang sudah diayak 325 *mesh* diekstrak dengan menggunakan *magnetic stirrer*.



Gambar 4.10 Preparasi ekstrak sampel, (a) proses ekstrak mineral magnetik, (b) alat *magnetic stirrer* untuk ekstrak mineral magnetik, (c) mineral magnetik yang dihasilkan dari ekstrak.

Sampel mineral magnetik yang diperoleh dari proses ekstrak digunakan untuk analisis morfologi mineral magnetik yaitu analisis SEM-EDX, dan juga digunakan untuk analisis mineralogi yang menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) dan *Vibration Sampel Magnetometer* (VSM).

4.4 Pengukuran Kemagnetan

Pengukuran parameter magnetik meliputi :

1. Pengukuran suseptibilitas magnetik berbasis massa (χ)
Parameter suseptibilitas magnetik ini menggunakan dua frekuensi yang berbeda yaitu pada frekuensi rendah (χ_{LF}) 470 Hz, dan pada frekuensi tinggi (χ_{HF}) 4700 Hz (Gambar 4.7,a). Pengukuran ini menggunakan suseptibilitas meter Bartington MS2B. (Dearing, 1999).
2. Pengukuran ARM yang prosesnya diawali dengan melakukan demagnetisasi sampel pada medan bolak-balik dengan puncak 80 mT yang terus menurun. Pengukuran ini menggunakan alat AF (*alternating field*) demagnetizer (Molspin Ltd., Newcastle upon Tyne, United Kingdom) (Gambar 4.7b). Selanjutnya, sampel yang telah didemagnetisasi diberikan dua medan magnetik secara bersamaan, yaitu medan bolak-balik dengan puncak 70 mT yang terus menurun dan medan searah 0,05 mT. Kemudian sampel diinduksi dengan medan bolak-balik tiap interval 5 mT secara bertahap sampai 70 mT. Remanen magnetisasi tiap tahap tersebut diukur dengan menggunakan alat *spinner fluxgate magnetometer* (Minispin, Molspin Ltd, Newcastle Upon Tyne, Inggris) (Gambar 4.7c). Kurva peluruhan ARM yang dihasilkan dari pengukuran ini menginformasikan tentang tingkat kestabilan dari bulir-bulir magnetik (SD, PSD, MD).
3. Pengukuran berikutnya adalah parameter IRM yang dilakukan dengan cara memberikan medan *direct current* (DC) secara bertahap dengan menggunakan kumparan Weiss (Gambar 4.7d) dari medan 0 sampai 1 Tesla. Remanen magnetisasi untuk tiap-tiap tahapan diukur dengan menggunakan alat *spinner fluxgate magnetometer* (Minispin, Molspin Ltd). Nilai IRM saat mencapai saturasi disebut *saturation isothermal remanent magnetization* (SIRM). Hasil pengukuran ini dapat menyajikan informasi jenis mineral magnetik yang

terdapat pada sampel, dimana magnetik yang lebih cepat tersaturasi di bawah 300 mT mengindikasikan jenis mineral magnetik yang berkoersivitas rendah, dan sebaliknya (Dunlop dan Özdemir, 1997).

4. Pengukuran parameter histerisis diperoleh dari pengukuran medan magnet koersivitas (B_c), medan magnet koersivitas remanen (B_{cr}), magnetisasi saturasi (M_s) dan magnetisasi saturasi remanen (M_{rs}). Pengukuran parameter-parameter magnetik ini dilakukan dengan menggunakan alat *Vibration Sampel Magnetometer* (VSM) 1,2 H/CT/HT (Oxford Instrument, Oxfordshire, UK).

Pengukuran parameter magnetik suseptibilitas magnetik (χ), IRM dan ARM dilakukan dengan instrumen yang ada di Laboratorium Kemagnetan Batuan Institut Teknologi Bandung. Sedangkan pengukuran parameter hysteresis menggunakan VSM yang ada di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).



(a)



(b)



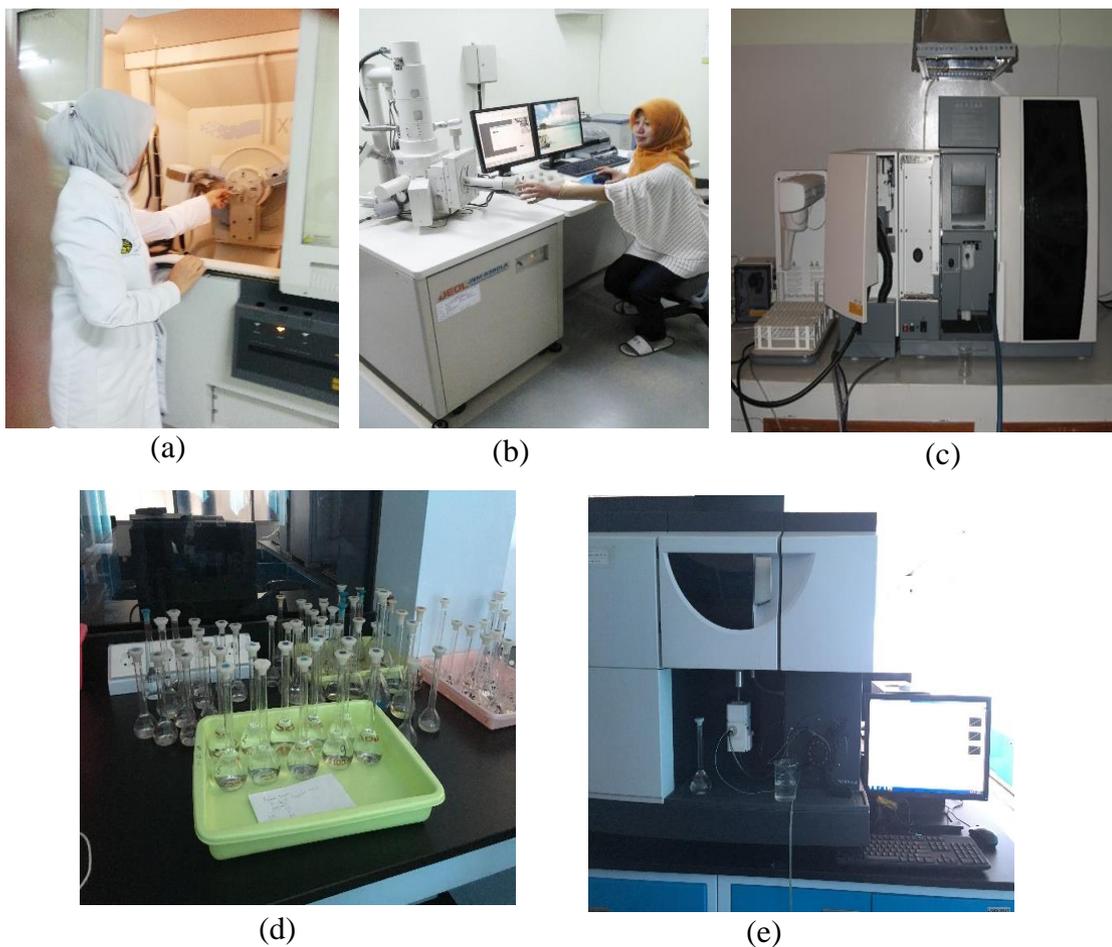
(c)



(d)

Gambar 4.11 Alat pengukuran parameter magnetik. (a) *Suseptibility meters* Bartington MS2B, (b) Molspin AF *demagnetizer*, (c) *spinner fluxgate magnetometer*, (d) Kumparan Weiss.

Disamping pengukuran magnetik yang berdasarkan sifat-sifat kemagnetan, dilakukan juga pengukuran yang tidak berdasarkan sifat kemagnetan yaitu pengukuran non magnetik. Pengukuran non kemagnetan meliputi analisis morfologi yang menggunakan SEM-EDX, analisis unsur kimia dalam sampel menggunakan XRF (*X-ray Fluorescenc*, analisis mineralogy menggunakan XRD (*X-ray diffraction*). Sedangkan untuk identifikasi jenis logam berat dan kelimpahan yang terkandung dalam sampel dilakukan dengan menggunakan metoda *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Pengukuran konsentrasi *rare earth element* (REE) menggunakan *instrument Inductively Coupled Plasma Atomic-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES) tipe Agilent 700/725 ICP-OES. Peralatan XRF, XRD, dan SEM-EDX diukur di Laboratorium Geohidrologi, ITB, sedangkan AAS dan ICP-OES dianalisis di laboratorium Pusat Survey Geologi, Bandung.



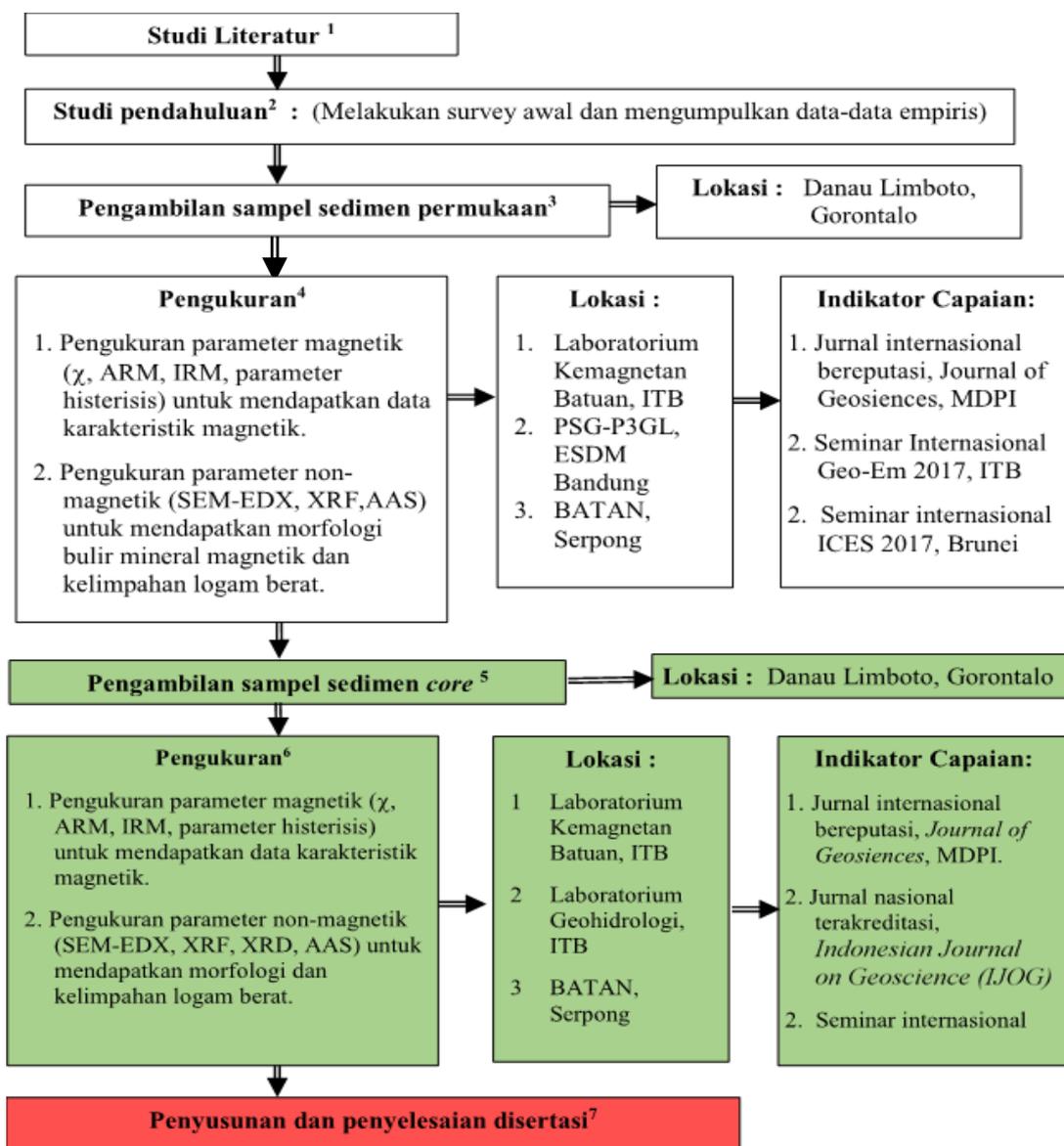
Gambar 4.12 Pengukuran metode non magnetik, (a) pengukuran XRD, (b) analisis SEM-EDX, (c) pengukuran konsentrasi logam berat dengan AAS, (d-e) Pengukuran REE menggunakan ICP-OES.

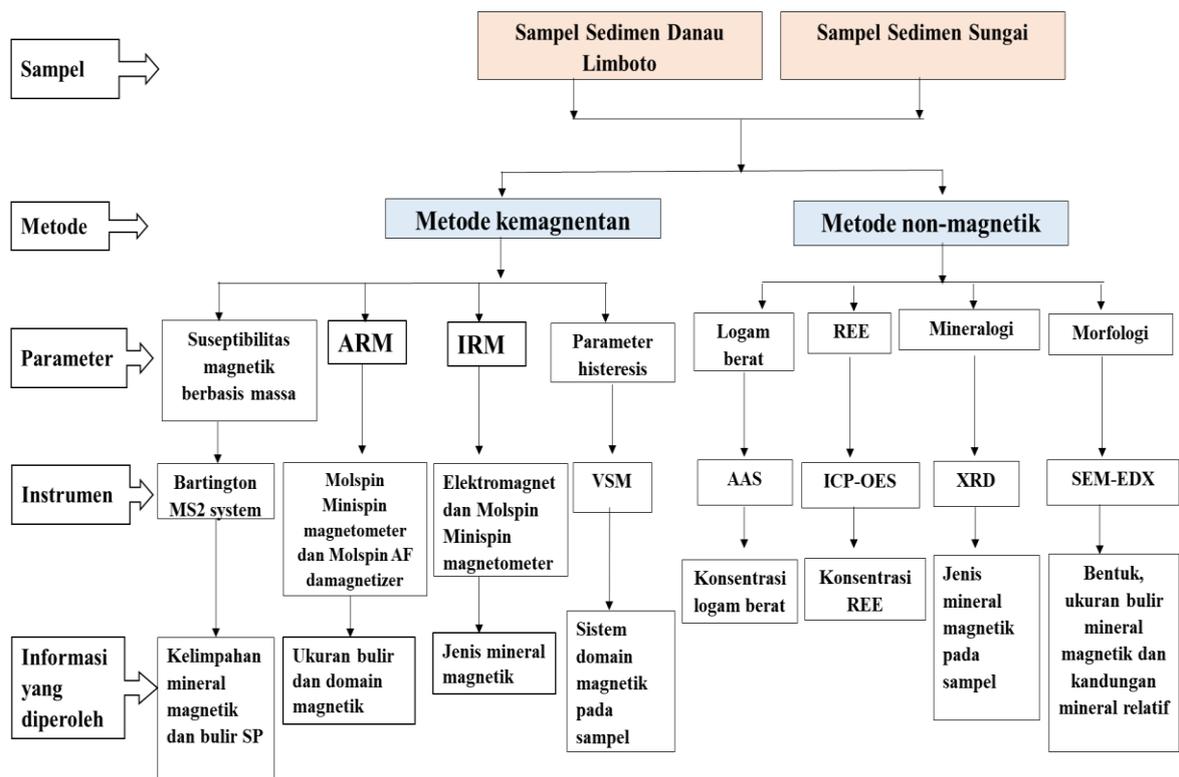
4.3 Indikator Capaian

1. Satu jurnal internasional di jurnal internasional bereputasi, *Journal of Geoscience*, MDPI (*accepted*)
2. Satu jurnal nasional terakreditasi, *Indonesian Journal on Geoscience (IJOG)* (draft)
3. Pemakalah dalam temu ilmiah internasional

4.4 Bagan Penelitian

Kegiatan penelitian dalam bagan di bawah ini adalah keseluruhan kegiatan penelitian program S3, dan kegiatan Penelitian Disertasi Doktor (kotak berwarna hijau) adalah bagian kegiatan dari penelitian program doktor dari pengusul.





Gambar 4.13 Metode pengukuran dan Informasi yang diperoleh dari analisis data

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

Pada dasarnya hasil penelitian ini telah dilakukan berdasarkan tujuan dan target keluaran yang direncanakan. Disamping itu pelaksanaan Penelitian Disertasi Doktor ini merupakan satu kesatuan dari penelitian disertasi yang dijalankan penulis sejak studi program doktor. Oleh karena itu hasil dan keluaran dari penelitian ini merupakan rangkaian hasil penelitian disertasi penulis selama ini. Gambaran sebagian hasil pengukuran yang telah dilakukan diuraikan di bagian berikut.

5. 1 Hasil Pengukuran kemagnetan dan non magnetik

1. Pengukuran parameter magnetik

Pengukuran suseptibilitas magnetik menunjukkan tingkat konsentrasi mineral magnetik pada suatu bahan atau material dengan cara memberikan medan luar. Kandungan mineral magnetik yang mempengaruhi karakteristik bahan umumnya merupakan kelompok mineral magnetik ferimagnetik seperti *magnetite* dan *hematite*. Hasil pengukuran suseptibilitas magnetik dari sedimen sungai yang masuk ke Danau Limboto menunjukkan bahwa pada sedimen *core* mengalami peningkatan konsentrasi mineral magnetik dari 0 cm hingga 90-10 cm. Sementara pengukuran IRM menunjukkan mineral magnetik pada sampel mengalami saturasi di bawah 300 mT yang mengindikasikan mineral magnetik didominasi fasa mineral ferimagnetik seperti magnetit (Fe_3O_4). Selanjutnya pada pengukuran ARM menunjukkan bahwa mineral magnetik pada sampel makin besar ukuran bulir yaitu berada pada domain PSD/MD yang mengindikasikan bahwa mineral magnetit pada bagian sampel permukaan lebih dikontrol oleh komponen antropogenik dibandingkan dengan profil sampel di bagian 0-60 cm. Pada pengukuran VSM menghasilkan parameter hysteresis dari sampel ini berbentuk kurva normal sempit yang menandakan bahwa domain dari bulir mineral magnetik adalah *pseudo-single domain* (Tauxe, 1998).

2. Hasil pengukuran non-magnetik

a). Pengukuran Mineralogi

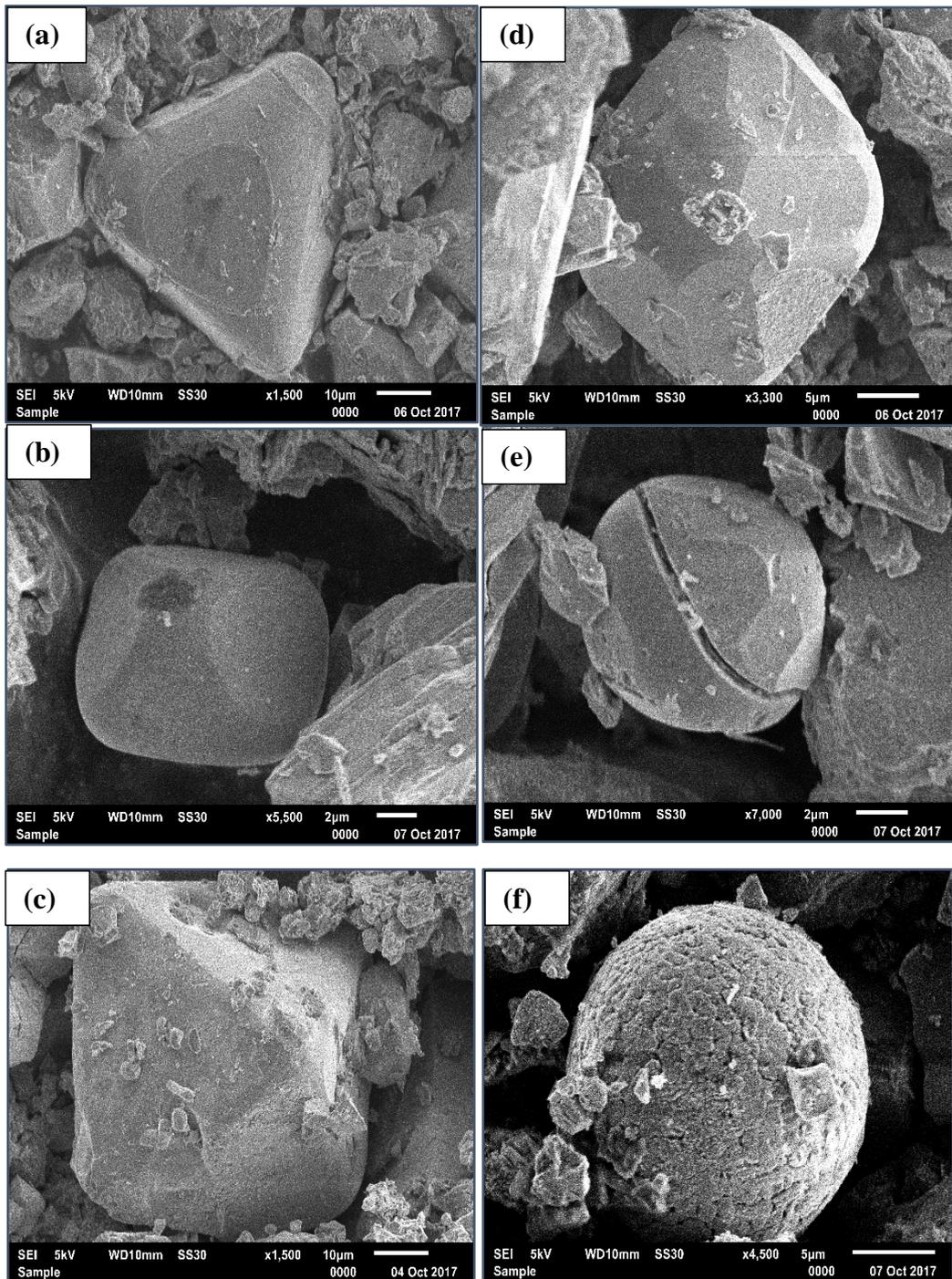
Kajian mineralogi dilakukan berdasarkan pengukuran XRD yang menunjukkan bahwa mineral magnetik sedimen *core* di bagian inlet dan tengah danau adalah magnetit dan hematit. Namun sedimen *core* di dekat pemukiman teridentifikasi mineral magnetik dominan adalah magnetit saja.

b). Pengukuran kandungan logam berat dan *rare earth element* (REE)

Berdasarkan analisis kandungan logam berat menunjukkan bahwa terdapat pola persebaran kandungan logam berat dan REE terutama Mn, Pr dan Gd yang makin meningkat dari 70-100 cm pada sedimen *core* di daerah pemukiman. Namun hal ini berbeda dengan sampel di tengah danau yang cenderung flat. Sedangkan sampel sedimen *core* di area inlet menunjukkan terdapat peningkatan yang relatif rendah elemen Fe, Ce, Sc, dan Nd.

b). Morfologi Mineral Magnetik pada sampel sungai

Identifikasi morfologi mineral magnetik penting untuk dilakukan dalam mendukung informasi karakteristik mineral magnetik berasal dari komponen litogenik dan antropogenik. Informasi bentuk dan ukuran bulir mineral magnetik diperoleh dari pengukuran SEM-EDX. Pada Gambar 5.1 ditunjukkan hasil pengamatan menggunakan SEM-EDX dari sedimen *core* pada bagian 0-70 cm (Gambar 5.1, a, b, c) cenderung berbentuk tetrahedral dan oktahedral. Bahkan sampel sedimen *core* di bagian tengah danau kedalaman 70-100 cm masih berbentuk tetrahedral. Berbeda halnya bentuk bulir mineral magnetik pada sedimen *core* baik pada kedalaman 0-60 cm dan 70-100 cm cenderung berbentuk *spherule* (Gambar 5.1e, f). Mineral magnetik yang berbentuk tetrahedral maupun oktahedral merupakan ciri dari mineral magnetik yang berasal dari komponen litogenik yang merupakan komponen yang berasal dari pelapukan batuan dan tanah. Sedangkan bentuk bulir mineral magnetik yang berbentuk *spherule* diduga berasal pembakaran suhu tinggi komponen antropogenik dari aktivitas manusia seperti limbah aktivitas pertanian, limbah domestik, limbah industry (Chaparo 2010, Huliselan dan Bijaksana, 2014, Aidona 2016, Zong, 2017).



Gambar 5.1 Bentuk dan ukuran bulir mineral magnetik pada sampel *core* (a) sampel sedimen *core* dekat inlet kedalaman 0-60 cm, (b) sampel sedimen *core* dekat inlet kedalaman 70-100 cm, (c) sampel sampel sedimen *core* di bagian tengah danau kedalaman 0-70 cm, (d) sampel sedimen di bagian tengah danau kedalam 70-100 cm, (e) sampel sedimen *core* di bagian relatif dekat dengan pemukiman 0-70 cm, (f) sampel sedimen *core* di bagian relatif dekat pemukiman kedalaman 70-100 cm.

5.2 Luaran yang Dicapai

Hasil dari penelitian yang dilakukan selama studi program doktor ini telah dielaborasi dan menghasilkan keluaran berupa paper pada jurnal internasional terindeks scopus (Q1), dan juga publikasi melalui kegiatan ilmiah yaitu seminar internasional. Disamping itu terdapat beberapa *draft* paper. Berikut keluaran yang telah peneliti publikasikan:

1. Jurnal Internasional bereputasi (Q1), yaitu Jurnal *Geosciences*, **8**, **116**, doi:10.3390/geosciences8040116.
2. Disamping itu hasil penelitian sedimen sungai di sekitar Danau Limboto juga telah dipublikasikan pada konferensi ilmiah internasional *Padjadjaran Earth Dialogues: International Symposium on Geophysical Issues (PEDISGI)*, Bandung, Indonesia, pada tanggal 2-4 Juli 2018.
3. Hasil penelitian pada sedimen Danau Limboto dan sungai di sekitar Danau Limboto juga telah dipublikasikan pada konferensi ilmiah internasional *Southeast Asian Conference on Geophysics (SEACG)*, Bali, Indonesia, pada tanggal 7-10 Agustus 2018.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

1. Capaian penelitian dan keluaran yang telah direncanakan dalam proposal skim penelitian Disertasi Doktor ini secara umum sudah tercapai dan hasil-hasil kajian pada penelitian ini telah menyempurnakan disertasi peneliti.
2. Mahasiswa pengusul penelitian disertasi doktor ini telah menyelesaikan seluruh serangkaian penelitian disertasi sesuai dengan arahan promotor dan co-promotor pada program studi doctor Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung. Adapun kesimpulan temuan penting yang telah diperoleh dari seluruh rangkaian penelitian disertasi yang didukung dengan pendanaan penelitian disertasi doktor ini adalah;
 - a. Komponen litogenik dan antropogenik pada sedimen permukaan Danau Limboto dapat dibedakan oleh parameter magnetik. Parameter magnetik yang kuat sebagai penanda adalah SIRM dan $SIRM/\chi_{LF}$. Tingginya nilai SIRM dan rasio $SIRM/\chi_{LF}$ menandakan mineral magnetik yang lebih dikontrol oleh komponen antropogenik, sedangkan rendahnya nilai SIRM dan $SIRM/\chi_{LF}$ menandakan mineral magnetik yang lebih dikontrol oleh komponen litogenik. Disamping itu ternyata komponen litogenik dan antropogenik pada sedimen permukaan Danau Limboto dapat dibedakan juga oleh logam berat dan REE. Komponen litogenik ditandai dengan tingginya konsentrasi Fe, Ce, Nd, dan Sc. Sedangkan komponen antropogenik ditandai dengan tingginya konsentrasi Mn, La, Pr, dan Gd.
 - b. Analisis morfologi mineral magnetik pada sampel ternyata menunjukkan terdapatnya karakteristik mineral magnetik yang dikontrol oleh komponen litogenik dan antropogenik. Hal ini mengindikasikan bahwa metode yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi kualitas perairan danau dan sungai.
 - c. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan tentang *tools* alternatif untuk mengasesment kualitas perairan danau dan sungai yang mengalami degradasi dan berpotensi menimbulkan bencana alam, sehingga dapat meningkatkan kualitas dan objektivitas terhadap ERA (*environmental risk assessment*).

DAFTAR PUSTAKA

- BALIHRISTI Provins Gorontalo. (2009). Profil Danau Limboto.
- 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. *Chinese Sci. Bulletin.* 56, 2464-2474. DOI 10.1007/s11434-011-4592-y.
- Bijaksana, S., dan Huliselan, E. K. (2010): Magnetic properties and heavy metal content of sanitary leachate sludge in two landfill sites near Bandung, Indonesia. *Environ Earth Science*, 60 : 409–419.
- Cárdenas. J.L.T.; Torres. N.P.S.; Valle. P.F.Z.D.; Donato. N.R.; Mendizábal. E.; Salazar. S.G. (2010). Speciation and sources of toxic metals in sediments of Lake Chapala, Mexico. *J.Mex. Chem. Soc.* 54(2), 78-87.
- Dearing, J. (1999): *Environmental Magnetic Susceptibility*. British Library Cataloguing in Publication Data, 47.
- Dunlop, D.J., Özdemir, Ö. (1997). *Rock Magnetism : Fundamentals and Frontiers*, Cambridge University Press, UK, pp.573.
- Evans, M.E., Heller, F. (2003). *Environmental Magnetism: Principles and Application of Environmagnetics*, Academic Press, New York, pp. 299.
- Guo, W., Huo, S., dan Ding, W. (2015). Historical record of human impact in a lake of northern China: Magnetic susceptibility, nutrients, heavy metals and OCPs, *Ecological Indicators*, 57, 74-81.
- Hayashida. A.; Nakano. R.; Nagashima. A.; Seto. K.; Yamada. K.; Yonenobu. H. (2015). Magnetic properties of surficial sediments in Lake Ogawara on the pacific coast of northeastern Japan: spatial variability and correlation with brackish water stratification. *Earth, Planets and Spcae.* 67:171. DOI 10.1186/s40623-015-0343-7.
- Hirt, A.M., Lanci, L., dan Koinig, K. (2003). Mineral magnetic recor of Holocene environmental changes in Sagistalsee, Switzerland, *Journal of Paleomonology*, 30, 321-331.
- Huliselan, E. K., Bijaksana, S., Srigutomo, W., dan Kardena, E. (2010). Scanning electron microscopy and magnetic characterization of iron oxides in solid waste landfill leachate, *Journal of Hazardous Materials*, 179, 701–708.
- Jordanova. D.; Hoffmann. V.; Fehr. K.T. (2004) Mineral magnetic characterization of anthropogenic magnetic phases in the Danube River sediments (Bulgarian part). *Earth and Planetary Science Letter.* 221. 71-89. DOI 10.1016/S0012-821X (04)00074-3.
- Li. Y.X.; Yu. Z.; Kodama. K.P.; Moeller R.E. (2006). A 14.000-year environmental change history revealed by mineral magnetic data from White Lake, New Jersey, USA. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 246. 27-40. DOI 10.1016/j.epsl.2006.03.052.
- Liu. D.; Ma. J.; Sun. Y.; Li. Y. (2016). Spatial distribution of soil magnetic susceptibility and correlation with heavy metal pollution in Kaifeng City, China. *Journal Catna.*, 139, 53-60.

- Ortega. B.; Caballero. M.; Lozano. S.; Vilaclara. G.; Rodríguez. A. (2006). Rock magnetic and geochemical proxies for iron mineral diagenesis in a tropical lake: Lago Verde, Los Tuxtlas, East – Central Mexico. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 250, 444-458. DOI 10.1016/j.epsl.2006.08.020.
- Peck, J.A., Green, R.R., Shanahan, T., King, J.W., Overpeck, J.T., dan Scholz, C.A. (2004). A magnetic mineral record of Late Quaternary tropical climate variability from Lake Bosumtwi, Ghana, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 215, 37-57, doi : 10.1016/j.palaeo.2004.08.003.
- Pozza. M.R.; Boyce. J.J.; Morris.W.A. (2004). Lake-based magnetic mapping of contaminated sediment distribution, Hamilton Harbour, Lake Ontario, Canada. *J. App. Geophys.* 57, 23-41. DOI 10.1016/j.jappgeo.2004.08.005.
- Putra, S.S., Hasan, C., Djudi., Suryatmojo, H. (2013). Reservoir saboworks solutions in Limboto Lake sedimentations, Northern Sulawesi, Indonesia, *Procedia Environmental Sciences*, 17, 230-239.
- Tamuntuan, G., Bijaksana, S., King, J., Russell, J., Fauzi, U., Maryunani, K., Aufa, N., dan Safiuddin, L.O. (2015). Variation of magnetic properties in sediments from Lake Towuti, Indonesia, and its paleoclimatic significance, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 420, 163-172.
- Thompson, R., Barrarbee, R.W., O’Sullivan, P.E., Oldfield, F. (1975): *Magnetic Susceptibility of Lake Sedimen, Limnology and Oceanography*, 20 (5), 687-698.
- Trisakti, B., Tjahjaningsih, A., dan Mukhoriyah. (2014). Permasalahan ekosistem danau dan pemanfaatan data penginderaan jauh satelit, Pusat Pengkajian Perencanaan dan Pengembangan Wilayah, CRESPENT Press, IPB-Bogor.
- Yang. T.; Liu. Q.; Zeng. Q.; Chan. L. (2009). Environmental magnetic responses of urbanization processes: evidene from lake sediments in East Lake, Wuhan, China. *Geophysics Journal Int.* 179, 873-886. DOI 10.1111/J.1365-246X.2009.04315.x.
- Zeng. L.; Ning. D.; Xu. L.; Mao. X.; Chen. X. (2015). Sedimentary evidence of environmental degradation in Sanliqi Lake, Daye City (A Typical Mining City, Central China). *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 95, 317-324. DOI 10.1007/s00128-015-1606-5.
- Zong. Y.; Xiao. Q.; Lu. S. (2017) Magnetic signature and source identification of heavy metal contamination in urban soils of steel industry city, Northeast China. *Journal Soils Sediments*. 17, 190-203. DOI 10.1007/s11368-016-1522-2.
- www.uwitec.at. Groundwater Sampling Equipment. UWITEC. Tanggal akses : 24 Mei 2017.

Lampiran

1. Bukti luaran yaitu halaman depan paper yang sudah dipublikasikan oleh Jurnal Internasional bereputasi (Q1) yaitu Jurnal Geosciences – MDPI.



Article

Lithogenic and Anthropogenic Components in Surface Sediments from Lake Limboto as Shown by Magnetic Mineral Characteristics, Trace Metals, and REE Geochemistry

Raghel Yunginger ^{1,*}, Satria Bijaksana ¹, Darharta Dahrin ¹, Siti Zulaikah ², Abd Hafidz ¹, Kartika Hajar Kirana ³, Sudarningsih Sudarningsih ⁴, Mariyanto Mariyanto ⁵ and Silvia Jannatul Fajar ¹

¹ Faculty of Mining and Petroleum Engineering, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10, Bandung 40132, Indonesia; satria@fi.itb.ac.id (S.B.); dahrin@gf.itb.ac.id (D.D.); abdulhafidz6@gmail.com (A.H.); silviajannatulfajar@gmail.com (S.J.F.)
² Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Malang, Malang 65145, Indonesia; siti.zulaikah.fmipa@um.ac.id
³ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Padjadjaran, Jatinangor 45363, Indonesia; kartika@geophys.unpad.ac.id
⁴ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin 70124, Indonesia; sudarningsih01@unlam.ac.id
⁵ Faculty of Civil, Environmental and Geo Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia; mariyanto@geofisika.its.ac.id
* Correspondence: raghe@ung.ac.id; Tel.: +62-852-206-26075

Received: 24 February 2018; Accepted: 27 March 2018; Published: 31 March 2018



Abstract: Lake Limboto is one of the major lakes in Sulawesi, Indonesia. It is currently undergoing serious degradation due to population pressure. As more residential areas have been established around the lake, the sedimentation rate has increased because of the contribution of anthropogenic particles. In this study, the lithogenic and anthropogenic components in surface sediments from 17 points in the lake were studied and identified using a combination of magnetic and geochemical analyses. The results showed that although the magnetic susceptibility values in R (residential) and NR (non-residential) areas were relatively similar, the values of saturation isothermal remanent magnetization (SIRM) as well as those of $SIRM/\chi_{LF}$ differed significantly, implying that the magnetic characteristics of the lithogenic component (in the NR area) differ from those of the anthropogenic component (in the R area). The discrepancy between the anthropogenic and lithogenic contributions was further supported by trace metals and rare earth element (REE) contents. Sediment samples in the R area contained higher levels of Mn, La, Pr, and Gd, while in the NR area they contained higher levels of Fe, Sc, Nd, and Ce. The magnetic susceptibility also correlated strongly with Fe, Cu, Zn, and Mn contents in the NR area. A similar correlation was not observed in the R area. The results above imply that a combination of magnetic and geochemical analyses can successfully differentiate lithogenic and anthropogenic components or contributions in lake sediments.

Keywords: lithogenic; anthropogenic; Lake Limboto; magnetic minerals; trace metals; rare earth elements; surface sediment

1. Introduction

Lake Limboto in the Gorontalo Province, Sulawesi, is one of several lakes in Indonesia that faces serious degradation due to population pressure as more residential areas are established in the vicinity

2. Bukti luaran yaitu *acceptance letter* pada seminar internasional yaitu *Padjajaran Earth Dialogues: International Symposium on Geophysical Issues (PEDISGI)*



Padjajaran Earth Dialogues:
International Symposium on Geophysical Issues
Bandung, July 2-4, 2018

Bandung, June 01, 2018

Ref. No : PEPR16/AL/PEDISGI/VI/2018
Subject : Acceptance Letter

To:

Ms. Raghel Yunginger
Faculty of Mining and Petroleum Engineering
Institut Teknologi Bandung

Dear Ms. Raghel Yunginger,

On behalf of the organizing committee of The 2nd Padjajaran Earth Dialogue: International Symposium on Geophysical Issues (PEDISGI 2018), we are pleased to inform you that abstract:

Title : **Morphological of magnetic minerals in rivers around Lake Limboto as indicators of lithogenic and anthropogenic components**
Author(s) : **Raghel Yunginger, Satria Bijaksana, Darharta Dahrin, Siti Zulaikah**
Paper Code : **PEPR16**

has been **accepted** for **poster presentation** in PEDISGI 2018. The symposium will be held in The Trans Luxury Hotel Bandung, Indonesia, on the July 2 – 4, 2018.

All the contributors are encouraged to submit their full paper at the latest on the 2nd July, 2018. The papers will be reviewed and the accepted papers will be published in reputable journal or in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES).

Thank you in advance for your kind attention and we look forward to seeing you in PEDISGI 2018.

Sincerely yours,

Dr. Eleonora Agustine
The Chairman of PEDISGI 2018

3. Bukti luaran yaitu *acceptance letter* seminar internasional *Southeast Asian Conference on Geophysics (SEACG) 2018*.



Bandung, 20 July 2018

Subject : Invitation Letter

Dear: Raghel Yunginger

It is with great pleasure that we invite you to participate in the 2nd Southeast Asian Conference on Geophysics (SEACG), 7-9 August 2018 in Mercure Bali Harvestland Kuta, Jl. By Pass Ngurah Rai No. 8 Simpang Siur, Kuta, Bali, Indonesia.

The overall theme of the conference is "**Geophysics: From energy sustainability to geohazards and infrastructure**". The conference provides a venue for collaboration, sharing and developing new ideas and technologies.

Your oral presentation schedule:

Abstract ID	Day	Room / Session	Time
SEACG-073	Tuesday, 7 August 2018	Room C Session 6	11.00 - 11.20

Thank you.

Sincerely,

Dr. Muhammad Rachmat Sule
Chairman