



**JABATAN MINERAL DAN GEOSAINS MALAYSIA**  
*Department of Mineral and Geoscience Malaysia*



# **GARIS PANDUAN**

## **EKSPLORASI UNSUR NADIR BUMI**

**JMG.GP.20**  
**(EDISI KEDUA, 2023)**



**KEMENTERIAN SUMBER ASLI, ALAM SEKITAR DAN PERUBAHAN IKLIM**  
*MINISTRY OF NATURAL RESOURCES, ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE*



**JABATAN MINERAL DAN GEOSAINS MALAYSIA**  
*DEPARTMENT OF MINERAL AND GEOSCIENCE MALAYSIA*



# **GARIS PANDUAN EKSPLORASI UNSUR NADIR BUMI**

**JMG.GP.20  
(EDISI KEDUA, 2023)**



SILA IMBAS UNTUK DAPATKAN SALINAN DIGITAL

**KEMENTERIAN SUMBER ASLI, ALAM SEKITAR DAN PERUBAHAN IKLIM**  
*MINISTRY OF NATURAL RESOURCES, ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE*

Hak Cipta Terpelihara © Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia

Hak Cipta terpelihara. Semua bahan yang terkandung dalam ini adalah hak milik Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia. Tiada sebarang unsur daripada penerbitan ini boleh diterbitkan semula dalam apa jua bentuk sama ada secara mekanikal atau elektronik termasuk sistem penyimpanan dan pengeluaran maklumat tanpa kebenaran secara bertulis dari Ketua Pengarah Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia.

*All rights reserved. All materials contained herein remain strictly the property of the Department of Mineral and Geoscience Malaysia. No part of this publication may be reproduced in any form or by any electronic or mechanical means including information storage and retrieval systems without written permission from the Director General of the Department of Mineral and Geoscience Malaysia.*

**ISBN 978-629-97485-9-5**

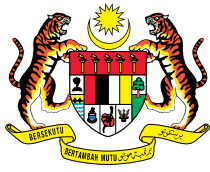
Garis panduan ini boleh diperoleh daripada:

**JABATAN MINERAL DAN GEOSAINS MALAYSIA**

ARAS 9, MENARA PjH,  
NO.2, JALAN TUN ABDUL RAZAK, PRESINT 2,  
62100, W.P PUTRAJAYA,  
MALAYSIA

TEL : (+603) 8871 6000  
FAKS : (+603) 8871 6145  
[www.jmg.gov.my](http://www.jmg.gov.my)

**Harga : RM50.00**



**JABATAN MINERAL DAN GEOSAINS MALAYSIA**  
*DEPARTMENT OF MINERAL AND GEOSCIENCE MALAYSIA*



# **GARIS PANDUAN**

## **EKSPLORASI UNSUR NADIR BUMI**

**JMG.GP.20**  
**(EDISI KEDUA, 2023)**

**KEMENTERIAN SUMBER ASLI, ALAM SEKITAR DAN PERUBAHAN IKLIM**  
*MINISTRY OF NATURAL RESOURCES, ENVIRONMENT AND CLIMATE CHANGE*



## PRAKATA

Unsur Nadir Bumi (*Rare Earth Element*, REE) mempunyai kegunaan meluas dalam pelbagai industri termaju seperti elektronik, teknologi hijau, pertahanan, automotif, petroleum dan sebagainya. Ini telah menyebabkan peningkatan permintaan terhadap REE dunia.

Kajian tinjauan yang telah dijalankan oleh Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (JMG) dalam Rancangan Malaysia Kesebelas (RMK-11) menunjukkan Malaysia mempunyai kewujudan longgokan REE yang besar berdasarkan kompleks geologi dan tektonik yang rencam, sekali gus berpotensi untuk dijalankan kajian susulan sebagai sumber penjanaan kekayaan baru negara.

Garis Panduan ini merupakan dokumen komprehensif yang telah dihasilkan melalui kompilasi pelbagai jurnal dan kertas teknikal dalam dan luar negara untuk rujukan pegawai JMG yang melaksanakan kajian eksplorasi sumber REE. Kaedah eksplorasi yang terkandung dalam garis panduan ini meliputi huraian kaedah-kaedah yang dilakukan di lapangan dan makmal.

Edisi Kedua ini merupakan hasil tambah baik edisi pertama 2015 terutamanya dalam aspek pengayaan sumber REE dalam deposit lempung jerapan ion, kaedah pengabstrakan REE secara larut resap setempat (*in-situ leaching*, IAC), eksplorasi sumber REE, pengiraan sumber REE dan isu alam sekitar yang terkait dengannya.

Penyediaan garis panduan ini merupakan sebahagian daripada usaha Jabatan dalam meningkatkan kepakaran di Jabatan ini. Daya usaha kumpulan kerja dalam menyediakan garis panduan ini amat disanjung tinggi. Ini adalah sumbangan yang amat berharga dan bermakna kepada JMG, khususnya dalam melaksanakan tugas teras eksplorasi sumber mineral.

**DATUK P.Geol. ZAMRI BIN RAMLI, F.I.G.M**

Ketua Pengarah

Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia

November 2023

## KANDUNGAN

<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	<b>ix</b>
<b>SENARAI RAJAH</b>	<b>xi</b>
<b>SENARAI JADUAL</b>	<b>xii</b>
<b>SENARAI FOTO</b>	<b>xii</b>
<b>SENARAI SINGKATAN</b>	<b>xiii</b>
<b>1.0 PENGENALAN</b>	<b>1</b>
<b>2.0 OBJEKTIF</b>	<b>3</b>
<b>3.0 SKOP</b>	<b>3</b>
<b>4.0 GEOLOGI DAN PEMBENTUKAN REE</b>	<b>4</b>
4.1 Sumber Igneus	6
4.2 Sumber Sedimen	6
4.3 Sumber Sekunder / Peluluhawaan	7
4.3.1 Deposit Sisa Terluluhawa	13
4.3.2 Deposit Lempung Jerapan Ion	14
4.4 Kandungan Radioaktiviti IAC	16
<b>5.0 PENGABSTRAKAN SUMBER REE DARIPADA LEMPUNG JERAPAN ION</b>	<b>16</b>
5.1 Kaedah Pengabstrakan REE	18
5.1.1 Larut Resap Timbunan / Kolam	18
5.1.2 Larut Resap Setempat (ISL)	18
5.1.2.1 Penyediaan Tapak Abstraksi	18
5.1.2.2 Proses Larut Resap	20
5.1.2.3 Proses Pemendakan	21
<b>6.0 ISU-ISU ALAM SEKITAR</b>	<b>23</b>
6.1 Perlombongan REE Daripada Sumber Sekunder	23
6.1.1 Kaedah Larut Resap Kolam / Timbunan <i>(Pool / Heap Leaching)</i>	23
6.1.2 Kaedah Larut Resap Setempat (ISL)	24
<b>7.0 KEGUNAAN REE DALAM INDUSTRI</b>	<b>25</b>
7.1 Pembuatan Magnet Kekal Berkekuatan Tinggi	26
7.2 Pembuatan Bateri Berprestasi Tinggi	27
7.3 Penghasilan Fosfor untuk Lampu dan Skrin	27

7.4	Industri Penyulingan Petroleum	27
7.5	Industri Pertahanan	27
<b>8.0</b>	<b>EKSPLORASI REE</b>	<b>28</b>
8.1	Peringkat Kajian	28
	8.1.1 Kajian Tinjauan	28
	8.1.2 Kajian Susulan	28
8.2	Persiapan Awal	29
	8.2.1 Rujukan Perpustakaan dan Arkib	29
	8.2.2 Rujukan Peta Topografi dan Penderiaan Jauh	29
	8.2.3 Penyediaan Peta Dasar	29
	8.2.4 Keperluan Kerja Lapangan	29
8.3	Kaedah Kajian	30
	8.3.1 Cerapan Lapangan	30
	8.3.2 Pensampelan	31
	8.3.2.1 Lempung Jerapan Ion	31
	8.3.2.2 Deposit Plaser	32
	8.3.2.3 Batuan	35
	8.3.3 Penyediaan Sampel	35
	8.3.3.1 Tanah	36
	8.3.3.2 Konsentrat	37
	8.3.3.3 Batuan	37
	8.3.4 Analisis / Ujian Makmal	37
	8.3.5 Kajian Sokongan	38
	8.3.5.1 Survei Geofizik	38
	8.3.5.2 Penggerudian	38
	8.3.5.3 Ujian Pemendakan	39
	8.3.6 Interpretasi Data	39
	8.3.6.1 Anomali REE	41
	8.3.6.2 Taburan REE	42
<b>9.0</b>	<b>PENILAIAN SUMBER DAN RIZAB REE</b>	<b>43</b>
9.1	Definisi Sumber Mineral	43
	9.1.1 Sumber Teragak ( <i>Inferred Resource</i> )	44
	9.1.2 Sumber Tertunjuk ( <i>Indicated Resource</i> )	44
	9.1.3 Sumber Terukur ( <i>Measured Resource</i> )	44



9.2	Rizab Mineral	44
9.3	Pengiraan Sumber REE	46
<b>10.0</b>	<b>KAEDAH PENYEDIAAN LAPORAN</b>	<b>47</b>
10.1	Format Laporan	47
	<b>BIBLIOGRAFI</b>	<b>51</b>
	<b>DAFTAR ISTILAH</b>	<b>59</b>
	<b>PENGHARGAAN</b>	<b>61</b>

## SENARAI LAMPIRAN

Lampiran 1	: Kedudukan REE dalam Jadual Berkala Unsur	62
Lampiran 2	: Pengelasan REE Kepada LREE dan HREE	63
Lampiran 3	: Peta Taburan REE di Semenanjung Malaysia	64
Lampiran 4	: Peta Taburan REE di Sabah dan Sarawak	65
Lampiran 5	: Jenis Mineral RE dan Purata Peratusannya	66
Lampiran 6	: Proses Pengusahahasilan REE daripada Lempung Jerapan Ion Sehingga Produk	67
Lampiran 7	: Perkembangan Teknologi dan Perbandingan Kaedah Pengekstrakan REE daripada Mineral dan Lempung Jerapan Ion	68
Lampiran 8	: Contoh Rekod Cerapan Lapangan	69
Lampiran 9	: Contoh Log Pensampelan Lubang Dalam	70
Lampiran 10	: Perbandingan Keputusan Ujian XRF dan Analisis LA-ICP-MS bagi Sampel-sampel Tanah Menggunakan Saiz Pengayak Yang Berbeza	71
Lampiran 11	: Proses Pengekstrakan Mineral RE daripada Konsentrat	72
Lampiran 12	: Proses Pengekstrakan REE daripada Batuan Luluhawa	73
Lampiran 13	: Carta Alir Ujian XRF	74
Lampiran 14	: Carta Alir Ujian XRD	75
Lampiran 15	: Carta Alir Analisis LA-ICP-MS	76
Lampiran 16	: Contoh Keputusan Survei Geofizik Menggunakan Kaedah Keberintangan ( <i>Resistivity</i> ) dan Pengutuban Teraruh (IP)	77
Lampiran 17	: Contoh Keputusan Ujian XRF bagi Sampel Tanah dan Batuan	78
Lampiran 18	: Contoh Keputusan Analisis LA-ICP-MS bagi Sampel Tanah	79
Lampiran 19	: Contoh Keputusan Analisis LA-ICP-MS bagi Sampel Batuan	80
Lampiran 20	: Contoh Graf Penormalan Kondrit	81
Lampiran 21	: Contoh Taburan TREE di Kawasan Kajian Susulan Mengikut Kelas dengan Interpolasi Kriging	82

Lampiran 22	:	Contoh Pengiraan Tree Menggunakan Kaedah Poligon Thiessen	83
Lampiran 23	:	Format Kandungan Laporan Eksplorasi REE Peringkat Tinjauan	85
Lampiran 24	:	Format Kandungan Laporan Eksplorasi REE Peringkat Susulan	87
Lampiran 25	:	Format Kulit Laporan bagi Kajian Peringkat Tinjauan	89
Lampiran 26	:	Format Kulit Laporan bagi Kajian Peringkat Susulan	90
Lampiran 27	:	Format Muka Dalam / Muka Surat Tajuk Bagi Kajian Peringkat Tinjauan	91
Lampiran 28	:	Format Muka Dalam / Muka Surat Tajuk Bagi Kajian Peringkat Susulan	92

**SENARAI RAJAH**

Rajah 1	:	Tetapan tektonik sistem mineral yang mengandungi REE	5
Rajah 2	:	Proses pembentukan profil luluhawa dan pengayaan REE dalam lempung jerapan ion (diubah suai selepas Li <i>et al.</i> , 2019).	10
Rajah 3	:	Ilustrasi fasa pertukaran ion dalam lempung jerapan ion (Selepas Voßenkaul <i>et al.</i> , 2015).	17
Rajah 4	:	Model kaedah ISL daripada lempung jerapan ion	19
Rajah 5	:	Model skematik penggerudian lubang cetek pada profil luluhawa dan lubang melintang bagi tujuan mengumpulkan larutan kaya REE ke dalam kolam takungan (Selepas Vahidi <i>et al.</i> , 2016)	19
Rajah 6	:	Tindak balas kimia yang berlaku semasa proses larut resap, di mana penggunaan ammonium sulfat sebagai <i>lixiviant</i> menghasilkan REE sulfat, manakala ion ammonia dijerap dalam lempung	20
Rajah 7	:	Perbandingan tindak balas kimia yang berlaku di antara penggunaan a) asid oksalik, dan b) ammonium bikarbonat sebagai agen pemendak	22
Rajah 8	:	Penghasilan REE oksida melalui proses pengkalsinan daripada a) REE oksalat terhidrat, dan b) REE karbonat	23
Rajah 9	:	Kegunaan REE global (selepas Balaram, 2019)	25
Rajah 10	:	Bahagian komponen kenderaan yang menggunakan REE	26
Rajah 11	:	Perkaitan antara hasil eksplorasi, sumber mineral dan rizab mineral (selepas CRIRSCO, 2013)	43

## SENARAI JADUAL

Jadual 1	: Sumber, jenis deposit dan lokasi lombong REE	4
Jadual 2	: Media dan kaedah pensampelan serta kuantiti sampel yang diperlukan mengikut jenis deposit REE	31
Jadual 3	: Penyediaan sampel dan jenis analisis / ujian makmal	35
Jadual 4	: Nilai berekonomi IAC-REE	42
Jadual 5	: Definisi istilah berkaitan rizab mineral	45
Jadual 6	: Contoh pengiraan sumber terukur REE	46

## SENARAI FOTO

Foto 1	: Ammonium sulfat (kiri) dan sekam padi (kanan) digunakan semasa proses larut resap	20
Foto 2	: Asid oksalik (kiri) dan ammonium bikarbonat (kanan) sebagai agen pemendak	21
Foto 3	: Perlombongan REE yang tidak mengikut prosedur operasi standard (SOP) boleh menyebabkan kerosakan alam sekitar seperti tanah runtuh	25
Foto 4	: Pensampelan pada potongan cerun pada horizon B secara alur	33
Foto 5	: Pensampelan tanah menggunakan mesin auger mata pilin (kiri) dan Gannan <i>hand auger</i> (kanan)	33
Foto 6	: Pensampelan konsentrat daripada deposit plaser menggunakan <i>sludge pump</i>	34
Foto 7	: Ujian pemendakan dilakukan di lapangan dengan menitiskan larutan ammonium sulfat ke atas sampel lempung	40
Foto 8	: Pemendakan REE oksalat di dalam larutan asid oksalik	40

## SENARAI SINGKATAN

**CEC** – Cation Exchange Capacity

**IAC** – Ion-adsorption clay

**ISL** – In-Situ Leaching

**MREO** – Magnetic Rare Earth Oxides. Consist of  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Dy}_2\text{O}_3$  and  $\text{Tb}_2\text{O}_3$  which are used in renewable technologies and permanent magnets

**NORM** – Naturally Occurring Radioactive Materials

**REE** – Rare earth elements

**RIA** – Radioactive Impact Assessment

**SSA** – Specific Surface Area. A measure of the surface area of a material per unit mass or volume

**TREE** – Total Rare Earth Elements

**TREO** – Total Rare Earth Ores



## 1.0 PENGENALAN

Unsur Nadir Bumi (REE) terdiri daripada 15 unsur dalam Kumpulan Lantanid (bernombor atom dari 57 hingga 71), serta skandium (bernombor atom 21) dan yttrium (bernombor atom 39). Skandium dan yttrium yang terletak dalam Kumpulan 3 juga dirujuk sebagai REE kerana sifat kimia dan fizikal yang sama di samping kewujudan mereka yang biasanya bersama-sama dengan Lantanid (Lampiran 1). Prometium (Pm) merupakan satu-satunya REE yang tidak wujud secara semula jadi di dalam kerak bumi disebabkan oleh separuh hayatnya yang pendek, iaitu kurang dari 20 tahun dan boleh dihasilkan di makmal.

REE dibahagikan kepada dua kategori, iaitu REE ringan (LREE) dengan nombor atom berjulat dari 57 hingga 63, dan REE berat (HREE) dengan nombor atom berjulat dari 64 hingga 71 (Lampiran 2). Yttrium, dengan nombor atom 39, dikumpulkan dalam kategori HREE kerana sifat-sifat kimianya, sementara skandium dengan nombor atom 21, tidak digolongkan sama ada sebagai LREE atau HREE kerana sifat-sifat fizikal dan kimianya yang unik (Jordens *et al.*, 2013).

Skandium (Sc) banyak diperoleh sebagai bahan sampingan perlombongan bijih besi seperti di Rusia dan Ukraine; tantalum, aluminium dan zirkonium di Australia; serta timah dan tungsten di China (Wang & Cheng, 2011; Yasukawa *et al.*, 2018). Gred Sc yang berekonomi, iaitu sekitar 100 hingga 400 ppm biasanya didapati daripada tanah kaya laterit yang merupakan sisa luluhawa batuan mafik dan ultramafik (Chasse *et al.*, 2017; Teitler *et al.*, 2019).

REE tidak wujud sebagai unsur metalik secara semula jadi, sebaliknya ia hadir dalam pelbagai mineral. Mineral yang mengandungi sejumlah REE yang banyak sama ada sebagai sebahagian daripada struktur kristal atau sebagai penggantian ionik dalam kekisi hablur dikenali sebagai mineral nadir bumi (RE) seperti monazit [(Ce,La,Y,Th)PO<sub>4</sub>], alanit [(Ca,Ce,Th)<sub>2</sub>(Al,Fe,Mg)<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>(OH)], basnesit [(Ce,Th,La,Y,Ca)(CO<sub>3</sub>)F], euksenit [(Y,Ca,Er,La,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] dan zenotim [YPO<sub>4</sub>]. Mineral RE hadir dalam pelbagai batuan sebagai mineral aksesori. Di Malaysia, mineral RE terutamanya monazit dan zenotim merupakan hasil sampingan daripada perlombongan bijih timah terutamanya di negeri Perak. Mineral ini diperoleh daripada pemprosesan amang bijih timah yang kebanyakannya dieksport ke China dan Jepun.

Pada tahun 2015, China menguasai 90% daripada pengeluaran REE dunia dan dijangka mencapai kemuncak pengeluaran pada tahun 2024 (Wang *et al.*, 2015).



Hasil kajian yang telah dilakukan di kawasan Longnan, China, menunjukkan nilai latar belakang bagi jumlah keseluruhan bijih RE (*Total Rare Earth Ore*, TREO) dalam batuan induk granit alkali adalah pada purata 300 ppm dan dalam profil luluhawa, iaitu yang terkandung dalam lempung jerapan ion adalah antara 1,000 – 1,500 ppm (Wu *et al.*, 1990). Ini menunjukkan kandungan TREO pada jumlah 500 ppm dalam lempung dianggap berekonomi untuk dilombong (Akademi Sains Malaysia, 2013).

Kajian REE yang terdahulu terhad kepada kajian penyelidikan seperti yang dilakukan oleh Wan Fuad & Mohd Suhaimi (1998), Mohd Rozi & Syed Sheikh Almashoor (2000), Wan Fuad *et al.* (2001), Mohd Rozi & Hamzah (2002), Akademi Sains Malaysia (2013) dan Zainuddin *et al.* (2013). Kajian yang pernah dilakukan oleh Jabatan Penyiasatan Kajibumi Malaysia hanya terhad kepada sumber mineral RE (*rare earth mineral*, REM) dalam amang, iaitu monazit dan zenotim dari kawasan lombong bijih timah di Selangor dan Perak dan dalam survei geokimia rantau.

Bermula pada Rancangan Malaysia Kesebelas (RMKe-11), Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia (JMG) telah memulakan kajian tinjauan potensi sumber REE di seluruh Malaysia (Lampiran 3 dan Lampiran 4). Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, beberapa kawasan telah dikenal pasti berpotensi untuk kajian susulan bermula pada Rancangan Malaysia Kedua Belas (RMKe-12).

## **2.0 OBJEKTIF**

Garis panduan ini disediakan sebagai rujukan kepada pegawai-pegawai di JMG untuk melaksanakan kerja-kerja eksplorasi bagi menilai potensi REE dalam kawasan deposit yang telah dikenal pasti.

Dokumen ini juga boleh menjadi panduan kepada pihak-pihak berkaitan di luar JMG seperti pihak perunding dan pelombong.

## **3.0 SKOP**

Skop garis panduan ini ditumpukan kepada penerangan asas mengenai REE seperti teori pembentukan, persekitaran geologi yang berpotensi, jenis deposit, isu alam sekitar berkaitan perlombongan REE, amalan-amalan dalam kerja eksplorasi untuk membuat penilaian dan penentuan sumber REE.

Amalan kerja eksplorasi ini meliputi seluruh aspek kajian lapangan, iaitu pemetaan geologi, persampelan tanah, batuan dan konsentrat serta kajian-kajian sokongan yang bersesuaian. Penyediaan sampel bagi analisis makmal, analisis dan interpretasi data serta penulisan laporan juga turut disertakan.

Teknik-teknik terkini pengabstrakan REE daripada lempung jerapan ion juga dibincangkan dalam dokumen ini.

Dokumen ini bukanlah suatu yang muktamad dan masih boleh ditambah baik mengikut perkembangan semasa.

#### 4.0 GEOLOGI DAN PEMBENTUKAN REE

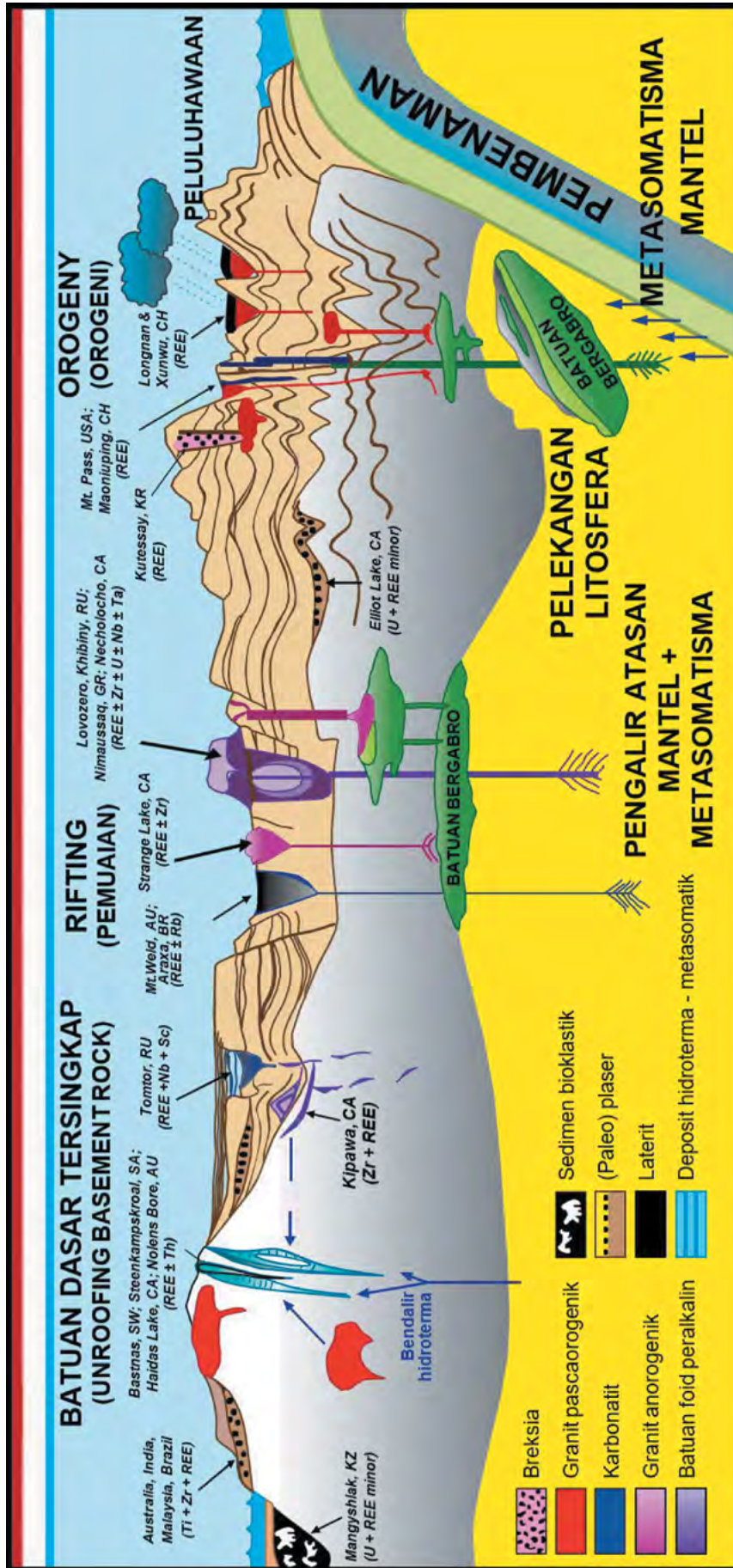
Geologi dan punca pembentukan sumber REE yang dilombong di dunia diperoleh daripada tiga sumber utama, iaitu batuan igneus, endapan sedimen (plaser dan konglomerat) dan punca sekunder seperti lempung jerapan ion daripada peluluhawaan granit sisa (Jadual 1). Sumber deposit REE dunia didapati daripada mineral-mineral seperti basnesit, monazit, loparit dan juga lempung jerapan ion. Ia dipengaruhi oleh tetapan tektonik sistem mineral (Rajah 1).

Lazimnya, magma alkali diperkaya bukan sahaja dengan REE tetapi juga zirkonium (Zr), niobium (Nb), strontium (Sr), barium (Ba), dan litium (Li). Apabila magma menaik (upwell), ia berubah secara kimia sebagai tindak balas kepada interaksi kompleks beberapa faktor seperti suhu, tekanan dan kimia batuan di sekelilingnya. Interaksi yang kompleks ini mengakibatkan pembentukan pelbagai jenis deposit REE (Ray & Shukla, 2004).

Jadual 1: Sumber, jenis deposit dan lokasi lombong REE.

Sumber	Jenis deposit	Lokasi Lombong
Igneus	Hidroterma	Bayan Obo (China)
	Karbonatit	Mt. Pass (Amerika Syarikat); Weshan, Maoniuping (China); Mount Weld (Australia); Araxa, Catalao (Brazil)
	Batuan Alkali	Khibiny, Lovozeiro (Rusia); Pocos de Caldas (Brazil)
	Granit Alkali	Strange Lake (Kanada)
Sedimen	Plaser	Kerala (India); Australia Barat, Queensland (Australia); Richards Bay (Afrika Selatan)
	Konglomerat	Elliot Lake (Kanada)
Sekunder (Lempung jerapan ion)	Granit Terluluhawa	Longnan, Xunwu (China), Timur Laut Myanmar, Kemboja, Laos, Malaysia

Basnesit dan monazit masing-masing merupakan mineral penyumbang pertama dan kedua bagi sumber REE dunia pada masa kini. Basnesit terbentuk dalam batuan alkali dan karbonatit yang kini diusahakan di China dan Amerika Syarikat (USA), manakala sumber monazit diperoleh dari Australia, Brazil, China, India, Malaysia, Afrika Selatan, Sri Lanka, Thailand dan USA. Walau bagaimanapun, sebahagian besar rizab utama deposit REE dunia masih tersimpan dalam lempung jerapan ion seperti yang terdapat di Zudong dan Longnan di selatan China (Bao & Zhao, 2008). Pada masa kini, deposit REE jenis lempung jerapan ion (*ion adsorption clay*, IAC) ini dilombong di China, Myanmar, Laos, Kemboja dan Malaysia.



(selepas Chakmouradian & Wall, 2011)

Rajah 1: Tetapan tektonik sistem mineral yang mengandungi REE.

Di samping itu, sumber REE bukan konvensional diperoleh daripada:

- a. deposit mangan jenis sedimentari dan hidroterma;
- b. deposit sisa bauksit;
- c. deposit sisa yang tinggi kandungan besi dan kaolin yang terbentuk daripada peluluhawaan batuan perumah igneus dan sedimen; dan
- d. batuan berkarbon termasuk arang batu, syal minyak dan batuan metapelit.

#### **4.1 Sumber Igneus**

REE daripada sumber igneus terdiri daripada batuan karbonatit, batuan alkali dan granit alkali yang berpunca daripada aktiviti hidroterma. Deposit karbonatit yang terdapat di Bayan Obo dianggap terbentuk melalui proses penggantian hidroterma batuan sedimen berkarbonat, di mana bendalir hidroterma berasal daripada beberapa siri intrusif alkalin-karbonatit (Kanazawa & Kamitani, 2006).

Selain granit alkali, granit kalk-alkali dan granit peralkalin juga boleh menjadi sumber igneus bagi REE. Granit peralkalin mengandungi alkali amfibol dan piroksen, kandungan besi yang tinggi dan mempunyai nisbah molar  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) / \text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ .

Bagi pengelasan mineral, LREE kaya dalam batuan karbonat dan fosfat, manakala HREE kaya dalam bentuk oksida seperti titanit, niobit, tantalit dan sebahagiannya daripada fosfat. Silikat pula mengandungi kedua-dua jenis REE (Kanazawa & Kamitani, 2006). Pengelasan dan ciri-ciri kimia bagi mineral RE secara amnya adalah seperti dalam Lampiran 5.

#### **4.2 Sumber Sedimen**

REE daripada sumber sedimen terdiri daripada deposit plaser dan konglomerat. Deposit plaser tersebar luas di seluruh dunia dan dilombong di Australia, India, Brazil dan Malaysia. Mineral plaser utama ialah monazit dan zenotim, biasanya berasosiasi dengan mineral titanium serta zirkon.

Secara amnya, mineral aksesori yang mengandungi REE boleh dibahagikan kepada tiga kumpulan, iaitu:

- a. sangat tahan kepada peluluhawaan (zenotim, zirkon);
- b. sederhana tahan kepada peluluhawaan (fergusonit, monazit, alanit); dan
- c. kurang tahan kepada peluluhawaan (basnesit, parisit, gadolinit-(Y), doverit).

Perlombongan REE daripada monazit and zenotim giat dilakukan di pesisir pantai berpasir yang berusia Neogen hingga Kuaterner di Australia (McLennan & Taylor, 2012). Di Malaysia, perlombongan bijih timah menghasilkan amang yang mengandungi sejumlah kecil sisa kasiterit, pasir dan mineral berat merangkumi ilmenit, zirkon, monazit, zenotim, kolumbit, rutil dan struverit yang mempunyai permintaan tinggi dalam industri pembuatan.

### 4.3 Sumber Sekunder / Peluluhawaan

Deposit REE daripada sumber sekunder terdiri daripada batuan igneus terluluhawa seperti granit, karbonatit, basalt dan vulkanik, selain sisa peluluhawaan kars (terra rossa), deposit laterit nikel dan bauksit. Deposit ini terhasil di kawasan iklim tropika dan subtropika.

Fu *et al.* (2019) mendapati peluluhawaan kimia merupakan faktor kepada mobilisasi REE dalam batuan metavulkanik yang menghasilkan variasi corak batuan pukal, melalui pembezaan peluluhawaan ke atas mineral primer, iaitu titanit, alanit dan apatit serta berlakunya pegenapan mineral sekunder seperti monazit-(La), monazit-(Nd) dan juga sedikit zenotim yang terhablur buruk semasa proses peluluhawaan.

Perubahan nisbah kepekatan LREE dengan HREE mencadangkan peluluhawaan kimia yang kuat dan berpanjangan dalam persekitaran berasid kuat yang menghasilkan pergerakan pembezaan LREE relatif kepada HREE. Ia turut menyumbang kepada perubahan dalam sebaran fosfat sekunder seperti apatit dalam bahan terluluhawa. Kebanyakan deposit bauksit kars di China diketahui secara relatifnya kaya dengan REE yang mencapai gred industri (Wang *et al.*, 2010).

Sumber utama REE jenis lempung jerapan ion adalah daripada batuan igneus alkali yang terbentuk oleh pencairan separa batuan mantel bawah, yang kemudiannya menaik dan menyejuk dalam kerak bumi sebelum mengalami peluluhawaan. Selain itu, batuan granit induk lain ialah granit kalk-alkali dan granit peralkalin (Ray & Shukla, 2004).

Pemineralan REE juga berlaku dalam kompleks beralkali berlapis, stok granit dan daik peringkat akhir serta batuan ekstrusif dan vulkaniklastik trakitik (Dostal, 2017).

Semasa proses pembentukan batuan igneus, REE mengalami pengayaan dalam magma semasa proses pembezaan magma. Mineral yang mengandungi REE biasanya wujud dalam pegmatit yang terbentuk dalam fasa lewat magma dan juga sebagai mineral aksesori di dalam batuan granit siri ilmenit jenis-S yang mengalami pembezaan magma yang tinggi (Imai *et al.*, 2008).

Dalam granit, REE terhablur terutamanya dalam fasa pembentukan mineral aksesori seperti alanit, titanit, monazit, zirkon dan zenotim serta mineral aksesori minor seperti apatit, torit dan ilmenit dengan sedikit magnetit. Proses pengubahan deutirik telah mengubah alanit magmatik dan titanit kepada fasa mineral REE sekunder, yang kemudiannya menjadi REE diperkaya dalam deposit (Bao & Zhao, 2008; Sanematsu & Kon, 2013; Sanematsu *et al.*, 2013; Sanematsu *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 1990).

Kajian oleh Wu *et al.*, (1990) mendapati granit yang kaya HREE adalah granit muskovit yang mengalami pembezaan tinggi ( $\text{SiO}_2 > 75\%$ ). Granit kaya biotit ( $> 11\%$ ) seperti yang terdapat di China pula merupakan petunjuk kepada kewujudan deposit REE yang disumbangkan oleh zirkon dan monazit yang wujud sebagai inklusi dalam biotit.

Selain itu, pengayaan REE dalam fasa lewat magma yang membentuk leukogranit dikawal terutamanya oleh pelarutan mineral aksesori seperti monazit, apatit dan zirkon semasa fasa pengayaan REE secara sebahagian atau keseluruhan, di mana mineral aksesori melepaskan REE ke dalam magma semasa proses anateksis (Ayres & Vance, 1997).

Model pengayaan REE terbaik diperoleh pada suhu  $620^\circ\text{C}$  dan  $680^\circ\text{C}$  bagi leukogranit berturmalin dan leukogranit berbiotit, di mana ia seragam dengan bukti jelas untuk suhu pemejalan (solidus) batuan tersebut (Scaillet *et al.*, 1995).

HREE biasanya dikawal oleh mineral apatit yang mengalami pelarutan lebih ekstensif daripada zirkon. Muskovit pula menunjukkan pengayaan LREE dan anomali positif Eu. Biotit juga menunjukkan pengayaan LREE, namun kajian lain menunjukkan biotit yang telah mengalami proses metamorf mengandungi anomali positif Eu (Bea *et al.*, 1994). Garnet pula menunjukkan pengayaan HREE dan anomali Eu yang sedikit negatif.

Profil granit terluluhawa dibahagikan kepada empat lapisan berdasarkan kepada horizon dan pengayaan mineral (Sanematsu *et al.*, 2013) (Rajah 2):

- a. Horizon A – Lapisan humus, kandungan bahan organik dan butiran kuarza, berwarna perang gelap;
- b. Horizon B – Lapisan terluluhawa sepenuhnya (*completely weathered*), kaya lempung, kurang bahan organik, berwarna kuning hingga perang kemerahan;

- c. Horizon C – Lapisan terluluhawa kuat (*strongly weathered*), kandungan lempung yang lebih rendah, tekstur granit baki dan mineral feldspar dan biotit boleh dilihat; dan
- d. Horizon D – Lapisan terluluhawa sedikit (*partly weathered*), zon transisi batuan asal, batuan teras dikelilingi regolit.

Li *et al.* (2019) dalam kajiannya di Zudong, China mendapati kepekatan REE meningkat daripada sekitar 300 ppm di horizon A kepada sekitar 1,500 ppm di zon sempadan horizon B dan C, dan kemudian berkurangan dengan bertambahnya kedalaman.

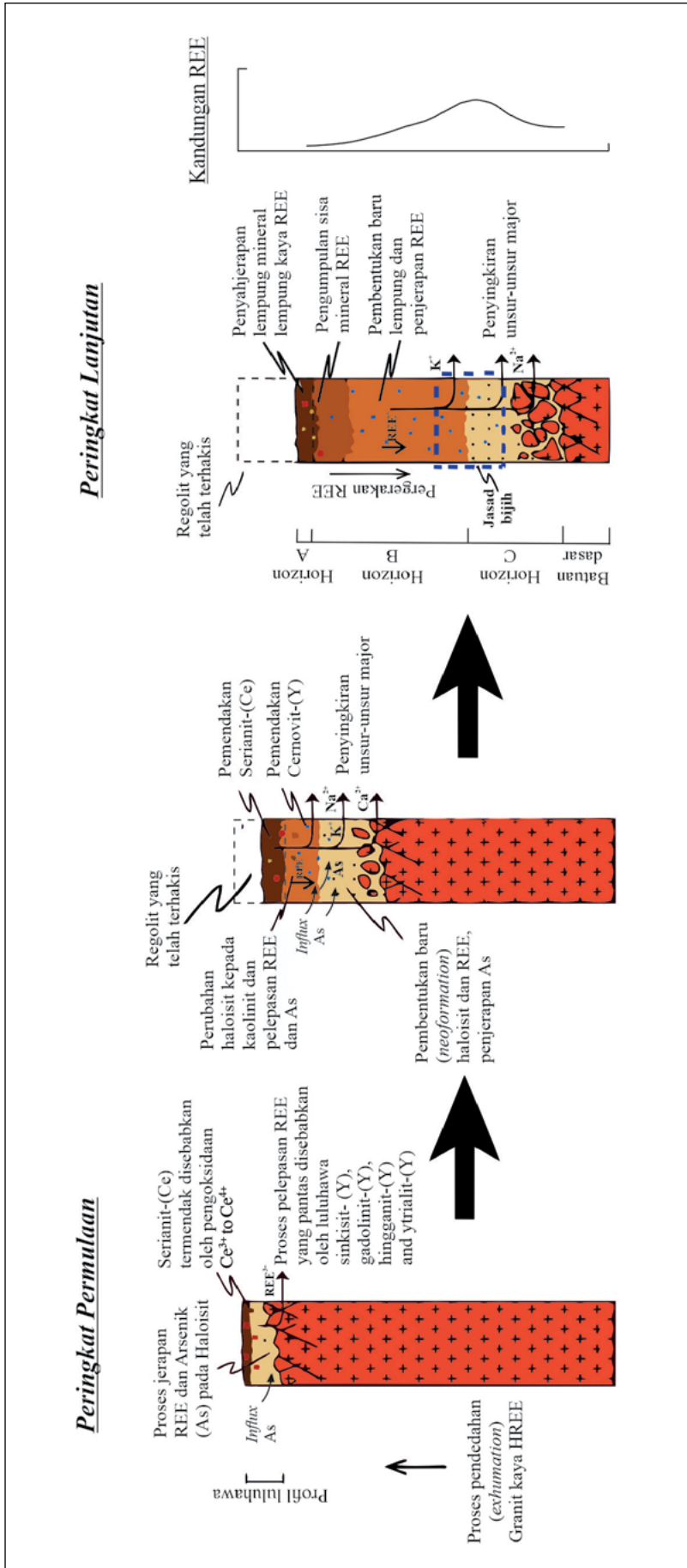
Penjerapan REE dalam granit terluluhawa dikawal oleh jenis bahan penjerap seperti lempung (kaolinit dan haloisit) serta mineral-mineral sekunder seperti goetit (Fe hidroksida) dan bauksit (Al hidroksida) selain pH air tanah (Sanematsu *et al.*, 2013).

Menurut Li *et al.* (2019), mineral-mineral seperti zenotim-(Y), zirkon, torit dan kumpulan fergusonit serta kumpulan mineral *aeschnite* atau euksenit adalah antara mineral kaya REE tahan luluhawa yang dapat dikesan dalam regolit. Selain itu, mineral RE supergen seperti cernovit-(Y) adalah yang paling biasa hadir sebagai hablur pseudokubik bersaiz mikro dalam regolit.

Di Zudong, REE dalam deposit lempung jerapan ion dibebaskan oleh sinkisit-(Y), gadolinit-(Y), hingganit-(Y) dan yttrialit-(Y) di mana mineral-mineral ini asalnya wujud dalam granit induk, tetapi tiada dalam tanah akibat proses peluluhawaan yang ekstensif (Li *et al.*, 2019).

Kadar REE yang dijerap oleh mineral-mineral lempung ialah sekitar 65% manakala selebihnya diikat oleh Fe oksihidroksida (1.5-3.1%), Mn oksihidroksida (0.3-2.4%), bahan organik (0.2-0.8%) dan sebanyak 25% dimendakkan sebagai cernovit-(Y) serianit, serta dalam mineral sisa seperti zirkon, zenotim-(Y) dan euksenit (Li *et al.*, 2019).





Rajah 2: Proses pembentukan profil luluhawa dan pengayaan REE dalam lempung jerapan ion (diubah suai selepas Li et al., 2019).

Fasa mineral sekunder dan bahan organik memainkan peranan yang penting dalam pengekalan REE dalam tanah dan boleh menahan REE dari masuk ke dalam sistem air bawah tanah (Stille *et al.*, 1999). Penggantian mineral mengandungi REE primer (monazit, alanit, zirkon dan apatit) oleh mineral fosfat sekunder pembawa LREE (*rhabdophane*, kumpulan candralit, florensit dan fancoisit) atau mineral mengandungi uranium seperti kofinit [ $U(SiO_4)$ ] atau uranil fosfat tetrahidrat adalah penting untuk pengekalan REE dalam lapisan luluhawa.

Perkaitan positif antara  $P_2O_5$ , Th dan penurunan nilai HREE menunjukkan bahawa unsur-unsur ini dikawal oleh mineral fosfat seperti monazit dan apatit. Proses pelarutannya menjadi lebih penting ke arah permukaan, di mana ia mengawal pergerakan REE dan Th dalam tanah (Aubert *et al.*, 2000). Sebahagian daripada pengayaan dikawal oleh fasa mineral yang kaya HREE seperti zirkon.

Nilai pH larutan tanah merupakan faktor penting dalam mengawal kandungan REE dalam tanah. Pelarutan REE meningkat seperti kebanyakan logam dengan penurunan pH, justeru pH larutan tanah meningkat mengikut kedalaman (Dambrine *et al.*, 1998). Ini menyebabkan bahagian atas profil tanah mempunyai kepekatan REE lebih rendah berbanding bahagian bawah profil.

Persekitaran pH yang rendah, iaitu sekitar 4.5 di horizon A akibat pereputan bahan organik kepada asid humik adalah tidak kondusif bagi penjerapan REE dan penganapan mineral-mineral sekunder atau supergen. Mineral-mineral kaya REE yang mudah terluluhawa terurai ke dalam fasa akueus.

Ce boleh teroksida dalam persekitaran cetek dan termendak sama ada bersama dengan Mn atau sebagai cerianit ( $CeO_2$ ). REE bergerak ke bawah kecerunan dalam air bawah tanah sebagai jujuk terlarut atau berasosiasi dengan zarah koloid.

Pada kedalaman yang lebih tinggi, interaksi cecair-mineral yang berterusan menyebabkan pH meningkat iaitu sekitar 6.0 menyebabkan REE terjerap pada kaolinit atau haloisit dan penganapan mineral REE supergen berlaku (Verplanck, 2017; Li *et al.*, 2019).

Tahap pengayaan La dan Y dalam profil luluhawa tidak meningkat mengikut kedalaman. Profil luluhawa horizon B dan C menunjukkan anomali Ce negatif yang kuat, manakala horizon A dan C bawah menunjukkan anomali Ce positif yang maksimum. Kepekatan La dan Y meningkat apabila kepekatan Ce berkurangan. Pengayaan REE yang lebih tinggi bagi batuan granit asal juga berkait rapat dengan penyusutan unsur Ce. Anomali Ce merupakan petunjuk yang baik bagi penganggaran darjah pengayaan HREE (Xu *et al.*, 2017).

Semasa proses peluluhawaan, monazit boleh berubah separa kepada hutonit ( $\text{ThSiO}_4$ ) atau mikrohablur Th-OH silikat melalui proses pemecahan tanpa tindak balas larut resap oleh air meteorik. Akibat proses ini, Th dan sejumlah besar kandungan LREE terbebas ke dalam lapisan lempung (Papoulis *et al.*, 2004b).

Pengayaan HREE biasanya berlaku dalam granitoid peralkalin dan alkali berkait dengan metasomatisme zirkonosilikat (Sheard *et al.*, 2012; Gysi & Williams-Jones, 2013). Komposisi granitoid yang kaya alkali dipercayai dapat meningkatkan keterlarutan zirkon dan meruap dalam fasa lebur (Kogarko, 1990), yang seterusnya meningkatkan mobiliti REE. Zenotim-(Y) dan zirkonosilikat berubah daripada zirkon yang disebabkan oleh bendalir hidroterma. Zirkonosilikat wujud sebagai butiran anhedral kecil dan inklusi mikro disekeliling atau dalam zirkon (Sheard *et al.*, 2012; Gysi & Williams-Jones, 2013). Kumpulan mineral zirkonosilikat mudah terluluhawa berbanding zirkon.

Kajian oleh Borst *et al.* (2020) mendapati faktor magmatik dan hidroterma dalam pembentukan granitoid mempengaruhi genesis deposit lempung jerapan ion. Di Madagascar, zirkonosilikat seperti kumpulan mineral eudialit yang mudah terurai merupakan perumah REE utama yang dominan dalam batuan dasar dan telerang pegmatit. Di beberapa tempat lain, fasa lewat magmatik-hidroterma memisahkan kumpulan mineral eudialit kepada zirkon dan zirkonolit sekunder yang lebih tahan luluhawa, lalu menghalang mobiliti HREE ke dalam profil laterit.

Granit di Zhaibei menunjukkan ciri yang berbeza di mana fasa zirkon primer kurang berperanan dalam mengayakan REE berbanding di Madagascar. HREE dilepaskan daripada mineral REE yang lebih mudah terurai seperti biotit, monazit, fluorkarbonat-(Ca-REE), fergusonit-(Y) dan *aeschynite*-(Y) sebelum dijerap kepada mineral lempung dalam profil luluhawa (Borst *et al.*, 2020).

Sifat korelatif antara  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Th, Zr dan REE dengan kedalaman menunjukkan bahawa mineral fosfat seperti monazit dan apatit serta zirkon amat penting dalam mengawal kepekatan Th dan REE dalam profil tanah.

Deposit fluorit jenis telerang kaya REE di barat daya Jerman dibahagikan kepada 2 fasa, iaitu fasa awal yang menunjukkan warna biru-hitam, mengandungi REE+Y yang sedikit dan tiada petunjuk interaksi dengan batuan perumah, diikuti fasa sekunder yang menunjukkan warna hijau-kuning-putih dan mengandungi REE+Y yang tinggi kerana berlaku mobilisasi semula fluorit melalui interaksi bendalir hidroterma lebih likat dengan batuan perumah. Anomali Ce dan Eu tidak memberi kesan ke atas

perubahan warna, tidak termasuk spar kuning madu. Kandungan ytrium memberi kesan kepada warna fluorit yang memberi warna hijau dan kuning. Florensit ialah ahli mineral Aluminium-Fosfat-Sulfat (A-P-S) terenap daripada larutan meteor berasid manakala *rhabdophane* terbentuk bawah keadaan neutral hingga sedikit alkali (Dill *et al.*, 2011).

#### 4.3.1 Deposit Sisa Terluluhawa

Deposit sisa terluluhawa merangkumi 35% daripada jumlah kandungan REE dalam profil terluluhawa di mana wujud dalam bentuk Fe oksihidroksida, Mn oksihidroksida, bahan organik, cernovit-(Y), serianit, serta dalam mineral sisa refraktori seperti zirkon, zenotim-(Y) dan euksenit (Li *et al.*, 2019).

Deposit ini terhasil di kawasan iklim tropika dan subtropika. Proses peluluhawaan mengayakan REE dalam lapisan mineral tertentu dalam kerak terluluhawa di mana batuan asalnya seperti ultrabes, karbonatit, basalt dan granit alkali yang kaya REE. Nikel laterit dan bauksit merupakan contoh terbaik bagi jenis deposit sisa terluluhawa.

Fu *et al.* (2019) menyatakan peluluhawaan kimia akan memobilisasi REE di dalam batuan metavulkanik yang menghasilkan variasi corak batuan pukal melalui diferensiasi peluluhawaan ke atas mineral primer, iaitu titanit, alanit dan apatit serta berlakunya penganapan mineral sekunder seperti monazit-(La), monazit-(Nd) dan sedikit zenotim yang terhablur buruk semasa proses peluluhawaan.

Tanah merah dan bauksit jenis kars di selatan China terbentuk daripada batuan karbonat yang melapisinya, dengan pengaruh terhad daripada basalt di kawasan ini dan dalam tanah jenis loes kaya mineral RE di China.

Perubahan nisbah kepekatan LREE dengan HREE mencadangkan bahawa peluluhawaan kimia yang kuat dan berpanjangan dalam persekitaran yang berasid kuat menghasilkan pergerakan pembezaan LREE relatif kepada HREE. Ia juga menyumbang kepada perubahan dalam sebaran fosfat sekunder (contohnya apatit) dalam bahan terluluhawa. Kebanyakan deposit bauksit kars di China diketahui secara relatifnya kaya dengan REE dan kebanyakannya mengandungi REE mencapai gred industri (Wang *et al.*, 2010). Terdapat juga bauksit lain, termasuk di China hanya mengandungi REE yang terikat kepada mineral melalui penjerapan ion.

### 4.3.2 Deposit Lempung Jerapan Ion

Istilah deposit lempung jerapan ion (IAC) mula diperkenalkan di China berdasarkan penemuan REE yang terjerap dengan banyak dalam lapisan berlempung pada profil granitoid terluluhawa di wilayah Jianxi. REE daripada deposit lempung jerapan ion dikenali sebagai IAC-REE.

Pembentukan deposit jenis ini disebabkan oleh peluluhawaan kimia dan biologi ke atas batuan di kawasan panas dan lembap dalam zon subtropika (Rajah 2). Pembentukan deposit ini perlu memenuhi sekurang-kurangnya dua kriteria utama, iaitu batuan perumah mesti mempunyai kuantiti REE yang mencukupi dan peluluhawaan atau proses pelateritan mestilah terawet (*preserved*) pada masa yang panjang tanpa hakisan.

Sanematsu & Watanabe (2016) mengelaskan lapisan terluluhawa sebagai deposit lempung jerapan ion sekiranya kandungan REE melebihi 50% berbanding kandungan REE dalam batuan induk. Sanematsu *et al.* (2013) mencirikan zon pengayaan REE yang ekstensif ditunjukkan oleh anomali Ce negatif.

Bahan penjerapan yang utama bagi REE terdiri daripada mineral sekunder termasuk mineral lempung seperti kaolinit dan haloisit dan / atau Fe dan Al hidroksida (Bao & Zhao, 2008). Klorit mempunyai keupayaan menjerap yang paling tinggi (Leveuf & Cornu, 2009). Menurut Compton *et al.* (2003), mineral sekunder termasuk fosfat, oksida besi dan oksida mangan turut mempunyai keupayaan menjerap REE.

Mineral sekunder utama dalam pecahan lempung biasanya terdapat di antara strata ilit-smektit (Probst *et al.*, 2000). Mineral lempung ini secara relatifnya mengandungi kapasiti pertukaran kation (CEC) yang lebih tinggi berbanding pecahan saiz partikel yang lebih kasar. Oleh itu, mineral lempung sekunder menjerap dan membawa bahagian penting bukan saja Sr, tetapi juga REE yang terhasil daripada penguraian mineral atau asalan atmosfera (*atmospheric derived*).

Kaolinit menunjukkan kecenderungan menjerap LREE lebih daripada HREE, di mana ia bergantung kepada kekuatan ionik. Begitu juga oksida besi di mana ia menunjukkan kecenderungan menjerap LREE lebih daripada HREE, terutamanya pada pH yang lebih tinggi. REE juga mengalami pengayaan dalam fosfat sekunder, khususnya *rhabdophane*, florensit dan *churchite* (Banfield & Eggleton, 1989).

Transformasi mineralogi utama berikut didapati telah berlaku seperti di Zudong (Li & Zhou, 2020) di mana luluhawa progresif menghasilkan variasi dalam kelimpahan REE seperti berikut:

- a. Muskovit → Haloisit → Kaolinit vermikular
- b. Muskovit → Kaolinit mikrohablur → Kaolinit vermikular
- c. Muskovit → Illit / smektit / vermikulit → Vermikulit
- d. Feldspar → Haloisit → Kaolinit vermikular
- e. Feldspar → Illit → Kaolinit

Feldspar boleh terurai untuk membentuk haloisit dan illit semasa peringkat awal peluluhawaan.

Albit boleh terurai dengan lebih cepat daripada ortoklas semasa luluhawa (Banfield & Eggleton, 1990; Blum & Stillings, 1995; White *et al.*, 2001). Semasa penguraian albit, Na dan Ca terbebas dalam tanah, manakala Si dan Al lampau tepu setempat mencetuskan penghabluran serentak haloisit di bawah keadaan tepu air (Velde, 1985; Banfield & Eggleton, 1990).

Transformasi mineral lempung dalam luluhawa progresif boleh menyebabkan perubahan ketara dalam sifat fizikokimia lempung, seperti luas permukaan spesifik (SSA) dan kapasiti pertukaran kation (CEC) (Bobos *et al.*, 2001; Papoulis *et al.*, 2004a). Dalam saprolit dan pedolit bawah, mineral kumpulan kaolinit biasanya mempunyai CEC dan SSA yang tinggi. Kelimpahan tinggi haloisit pendek dan kaolinit mikrohabluran dengan CEC tinggi boleh mempunyai kesan tepi (bergerigi) serta permukaan yang kuat untuk menjerap (Singh & Gilkes, 1992; Ma & Eggleton, 1999; Hart *et al.*, 2002).

Dalam pedolit atas cetek, perubahan haloisit berbentuk tiub (tubular) dan kaolinit mikrohablur kepada kaolinit besar, euhedral dan vermikular dikaitkan dengan penurunan mendadak dalam SSA dan keliangan mineral lempung. Li *et al.* (2019) mendapati kandungan REE dalam profil luluhawa meningkat mengikut kedalaman dari lapisan humik dan pedolit atas hingga lapisan pedolit bawah dan saprolit atas. Hal ini disebabkan oleh kapasiti penyerapan yang lebih tinggi oleh mineral lempung di bahagian bawah yang dicirikan oleh CEC yang tinggi, SSA yang besar, dan keliangan yang tinggi bagi haloisit dan kaolinit yang kecil dan tidak berhablur berbanding bahagian atas profil.

Di bahagian atas profil tanah, kapasiti penyerapan lempung adalah rendah disebabkan oleh nilai CEC yang rendah, SSA yang kecil kerana transformasi haloisit dan kaolinit mikrohablur kepada kaolinit hablur. Transformasi mineral lempung ini juga menyebabkan penyahjerapan REE ke lapisan lebih dalam, atau diempakan semula sebagai mineral cernovit-(Y).

Jenis lempung penjerap utama yang wujud dalam satu-satu kawasan berpotensi REE perlu diambil kira untuk penerokaan dan pemprosesan metalurgi. Haloisit boleh membentuk kompleks melalui saling selit (*intercalated*) dengan garam tertentu, seperti K-asetat, KCl,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , RbCl dan CsCl (Wada 1959a, 1959b; Carr *et al.*, 1978). Justeru, ammonium sulfat ialah agen larut resap yang sangat cekap untuk pengekstrakan REE daripada lempung haloisit (Li & Zhou, 2020).

#### 4.4 Kandungan Radioaktiviti IAC

Semua mineral termasuk lempung mempunyai radionuklida yang mempunyai asalan semula jadi. Secara amnya, tahap pendedahan manusia terhadap radionuklida ini tidak melebihi tahap latar belakang biasa dan tidak memerlukan perlindungan.

NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials*) merujuk bahan beradioaktif yang wujud dalam keadaan semula jadi tanpa jumlah radionuklida yang signifikan. Radiasi semula jadi daripada NORM dalam tanah berpunca daripada radionuklida dalam siri pereputan U-238, Th-232 dan K-40. Kepekatan NORM biasanya rendah dalam lempung tetapi lebih tinggi dalam granit.

Di Malaysia, NORM dikawal melalui Peraturan Perlesenan Tenaga Atom (Pengurusan Sisa Radioaktif) 2011. Berdasarkan Jadual Kedua, bahan yang mempunyai nilai radioaktif kurang daripada 1 Bq/g dikelaskan sebagai NORM dan tidak dianggap beradioaktif. Nilai 1 Bq/g bersamaan 246.5 ppm bagi Th-232 dan 80.9 ppm bagi U-238.

Kandungan Th-232 dan U-238 dalam deposit lempung jerapan ion biasanya amat rendah dan dikategorikan sebagai NORM, justeru Kajian Impak Radioaktif (*Radioactive Impact Assessment*, RIA) tidak diperlukan.

Analisis Th dan U yang dilakukan oleh JMG pada sampel yang dikutip hampir kesemuanya terletak di bawah nilai 1 Bq/g. Akta ini tidak tertakluk untuk dipatuhi bagi tujuan perlombongan, tetapi ia diguna pakai bagi aktiviti pemprosesan REE (*cracking*) daripada mineral RE.

### 5.0 PENGABSTRAKAN SUMBER REE DARIPADA LEMPUNG JERAPAN ION

Pengabstrakan REE daripada lempung jerapan ion adalah melalui beberapa proses, iaitu proses larut resap (*leaching*), pemendakan (*precipitation*) dan penghasilan kek (*cake*) REE. Kewujudan REE saling berkait rapat dengan mineral lempung terutamanya dalam batuan granitoid terluluhawa. Chi *et al.* (2005) mencirikan

kewujudan REE dalam lempung jerapan ion terdiri daripada tiga fasa, iaitu fasa pertukaran ion, fasa koloid dan fasa mineral (Rajah 3). Perbezaan fasa ini bergantung kepada keadaan luluhawa seperti sifat batuan perumah, pH tanah dan air, suhu, tekanan dan proses redoks.

a. Fasa pertukaran ion (*ion exchange phase*)

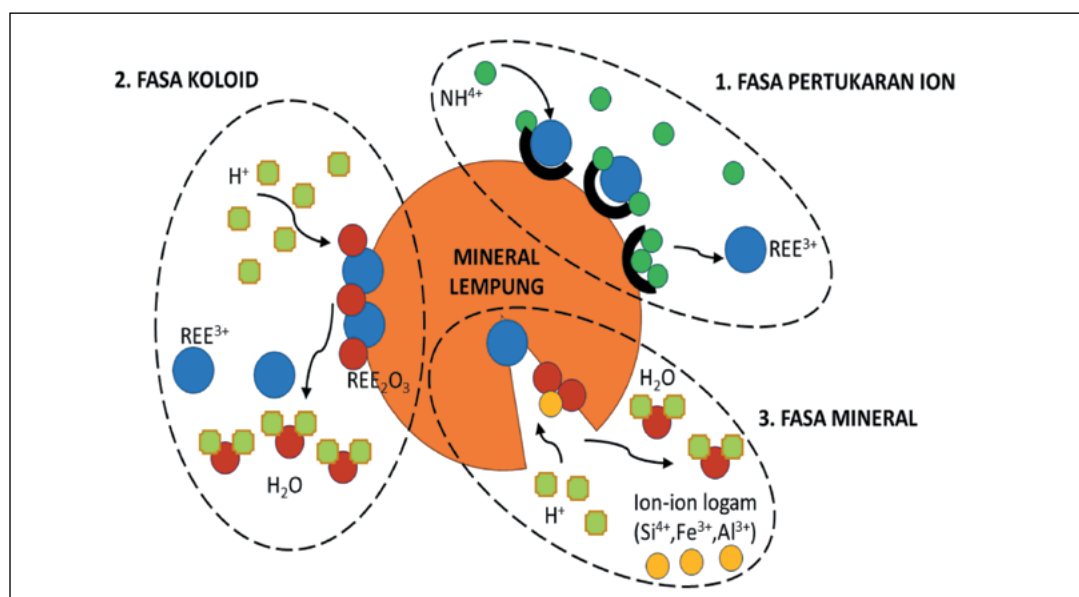
REE wujud sebagai kation bebas, kation terhidrat atau sebahagian daripada kompleks bercas positif dalam sebatian yang terjerap pada lempung. Ia mewakili 60% hingga 90% daripada kandungan REE dalam lempung dan boleh diperolehi semula dengan menggunakan agen pelarut resap monovalen seperti larutan ammonium sulfat  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ .

b. Fasa koloid (*colloid phase*)

REE wujud sama ada sebagai oksida atau hidroksida yang tak larut, atau sebahagian daripada sebatian organologam berpolimer yang bersifat koloid. REE ini wujud dalam kepekatan yang rendah dalam lempung pada keadaan semula jadi yang sedikit berasid tetapi boleh dikumpul hanya melalui proses larut resap asid.

c. Fasa mineral (*mineral phase*)

REE wujud sebagai sebahagian daripada kekisi hablur dalam matriks mineral. Fasa ini biasanya sebagai baki daripada fasa pertukaran ion. REE dalam fasa ini hanya boleh dikumpul melalui proses pereputan mineral menggunakan pemanasan beralkali (*alkaline bake*) atau larut resap asid.



Rajah 3: Ilustrasi fasa pertukaran ion dalam lempung jerapan ion (Selepas Voßenkaul *et al.*, 2015).



## 5.1 Kaedah Pengabstrakan REE

Terdapat dua kaedah pengabstrakan yang popular, iaitu kaedah larut resap timbunan / kolam (*heap / pool leaching*) dan larut resap setempat (*in-situ leaching*, ISL).

Pengabstrakan REE daripada lempung jerapan ion adalah lebih mudah, selamat dan praktikal berbanding daripada sumber mineral nadir bumi seperti monazit, basnesit dan zenotim yang melibatkan banyak peringkat dan memerlukan rawatan sisa beradioaktif (Lampiran 6 dan Lampiran 7).

Kajian mengenai pengabstrakan REE daripada lempung jerapan ion telah bermula sejak tahun 90-an, di mana sehingga kini banyak penambahbaikan telah dibuat bagi mendapatkan hasil yang terbaik.

### 5.1.1 Larut Resap Timbunan / Kolam

Kaedah larut resap timbunan / kolam telah lama diguna pakai sejak awal 80-an di China. Disebabkan oleh beberapa isu alam sekitar seperti penggondolan tanah, ekskavasi dan penghasilan sisa buangan yang banyak, kaedah ini telah diharamkan di China sejak tahun 2012.

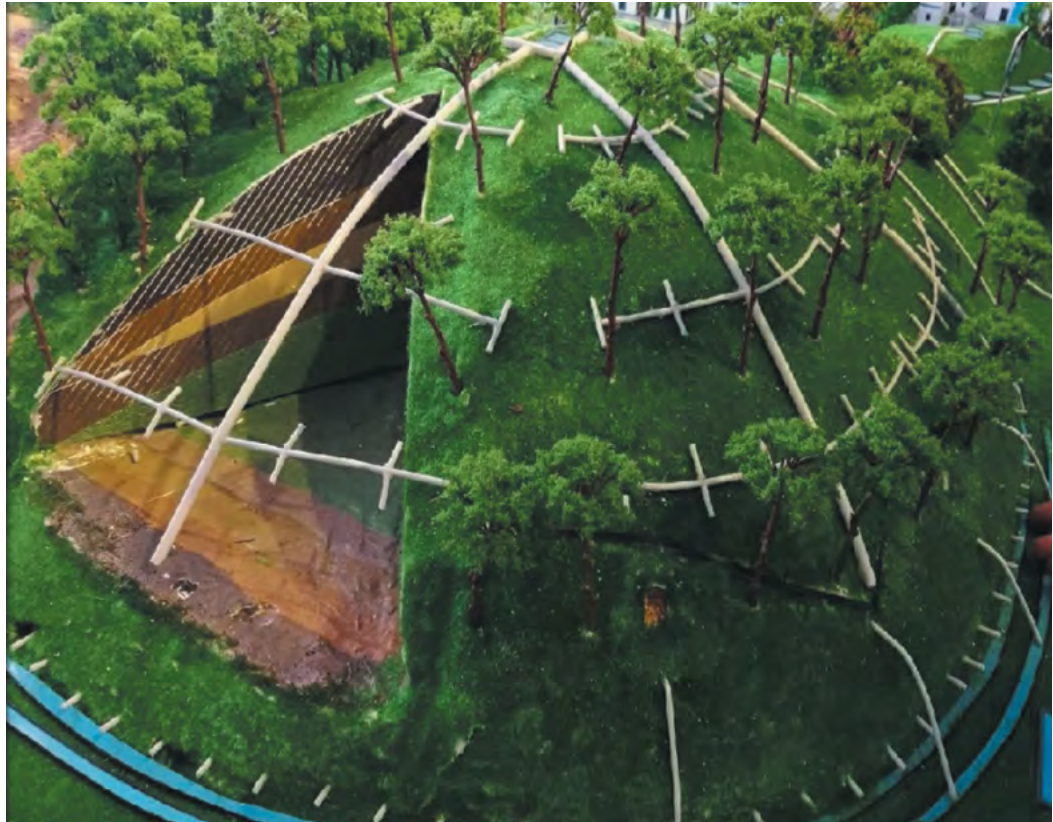
### 5.1.2 Larut Resap Setempat (ISL)

Kaedah terkini pengabstrakan REE adalah melalui teknik ISL atau *solution mining* bagi meminimumkan kesan terhadap alam sekitar. Kaedah ini diguna pakai di kawasan berbukit, melibatkan beberapa aspek, iaitu penyediaan tapak abstraksi, proses larut resap dan proses pemendakan (Rajah 4).

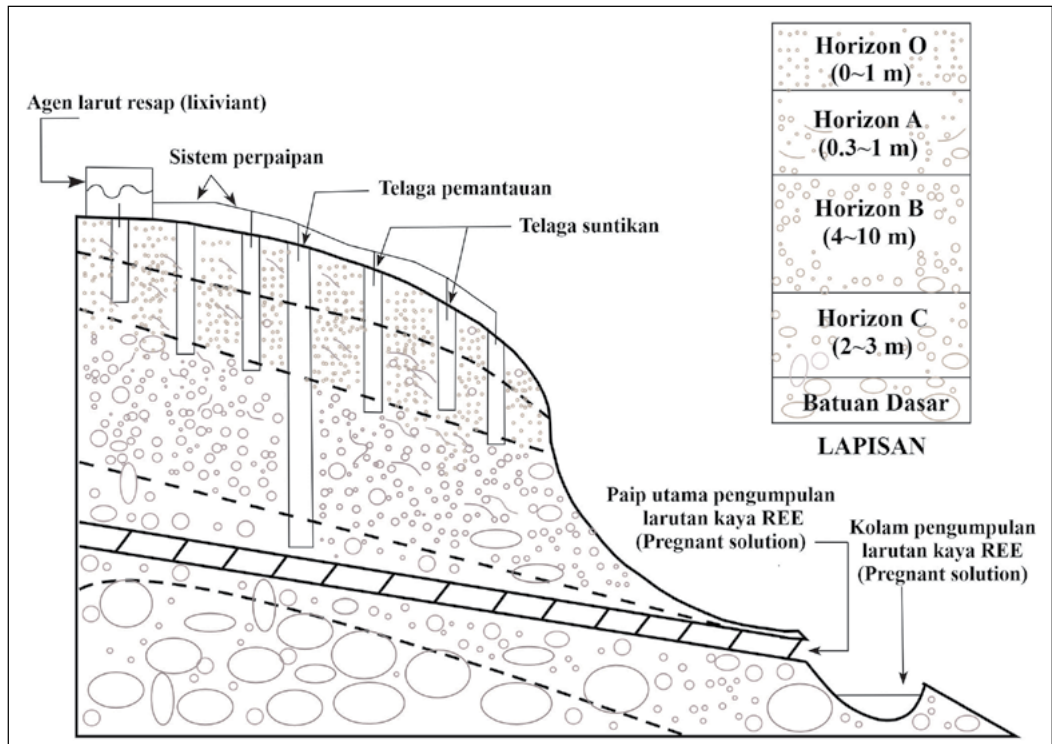
#### 5.1.2.1 Penyediaan Tapak Abstraksi

Kaedah ini melibatkan penggerudian lubang cetek pada sela 2 m hingga 3 m dengan kedalaman lubang antara 1.5 m hingga 3 m bagi tujuan suntikan agen larut resap (*lixiviant*). Lubang secara melintang selari dengan batuan dasar juga dibina bagi tujuan laluan pengumpulan larutan kaya REE ke dalam kolam takungan di bawah kawasan abstraksi (Rajah 5).

Larutan kaya REE yang dikumpulkan biasanya ditambah agen penggumpalan (*flocculant*) seperti poliakrilamid (*polyacrylamide*, PAM) bagi menyingkirkan bendasing seperti Al dan Zn (Wu *et al.*, 2020).



Rajah 4: Model kaedah ISL daripada lempung jerapan ion.



Rajah 5: Model skematik penggerudian lubang cetek pada profil luluhawa dan lubang melintang bagi tujuan mengumpul larutan kaya REE ke dalam kolam takungan (Selepas Vahidi *et al.*, 2016).

### 5.1.2.2 Proses Larut Resap

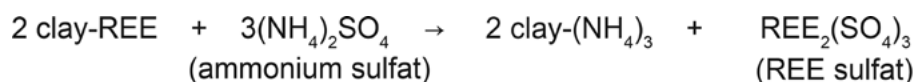
Proses larut resap menggunakan larutan garam tak organik seperti sulfat dan klorida yang mengandungi kation monovalen sebagai *lixiviant*. Ion-ion monovalen ini bertindak sebagai agen larut resap. Ion Sesium (Cs<sup>+</sup>) mempunyai keupayaan tertinggi untuk bertukar dengan ion REE, diikuti ammonia (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), potasium (K<sup>+</sup>), sodium (Na<sup>+</sup>) dan litium (Li<sup>+</sup>). Namun begitu, ammonium sulfat, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dilihat lebih sesuai digunakan kerana harga yang lebih murah dan praktikal berbanding Cs<sup>+</sup> yang terlalu mahal (Foto 1) (Rajah 6).

Tukar ganti ion (*ion exchange*) semasa proses larut resap mencapai keseimbangan dalam tempoh sekitar 5 minit, tetapi mampu menghasilkan REE yang maksimum pada suhu ambien (sekitar 25°C) dan pH sekitar 4 hingga 5 (Moldoveanu & Papangelakis, 2013).

Bahan seperti sekam padi dimasukkan ke dalam lubang-lubang bagi meningkatkan kesan penyerapan *lixiviant* ke seluruh bahagian profil luluhawa (Foto 1).



Foto 1: Ammonium sulfat (kiri) dan sekam padi (kanan) digunakan semasa proses larut resap.



Rajah 6: Tindak balas kimia yang berlaku semasa proses larut resap, di mana penggunaan ammonium sulfat sebagai *lixiviant* menghasilkan REE sulfat, manakala ion ammonia dijerap dalam lempung.

Trend terkini dalam penyelidikan REE jerapan ion memfokuskan kepada meminimumkan penggunaan ammonium sulfat untuk ISL sebagai usaha mengurangkan pencemaran ammonia pada air permukaan dan tanah. Antara penyelesaian yang ada ialah dengan menambahkan *leaching additive* tertentu seperti asid organik, *Sesbania Gum* atau dengan menilai penggunaan agen larut resap alternatif.

Xiao *et al.* (2015) melihat penggunaan magnesium sulfat sebagai *lixiviant* bukan sahaja alternatif kepada ammonium sulfat, tetapi bertujuan memperbaiki masalah kekurangan nutrien magnesium yang dihadapi untuk tanah di wilayah tersebut. Penggunaan magnesium sulfat dilihat lebih baik kepada persekitaran dalam jangka panjang kerana penurunan yang lebih kecil dalam pengabstrakan REE (5 – 7%) dibandingkan dengan ammonium sulfat. Penurunan penyahjerapan aluminium 10 – 15% juga adalah lebih rendah dengan penggunaan magnesium sulfat kerana kandungan larutan sisa yang lebih rendah untuk diproses / dihilangkan di proses hiliran.

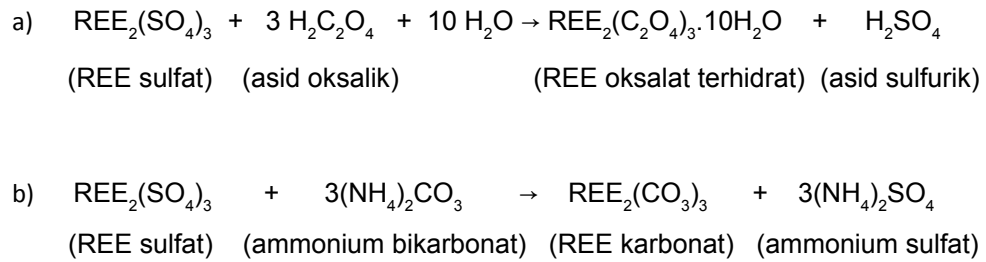
### 5.1.2.3 Proses Pemendakan

Agen pemendak yang biasa digunakan ialah asid oksalik ( $C_2H_2O_4$ ), sodium bikarbonat ( $NaHCO_3$ ) dan ammonium bikarbonat ( $NH_4HCO_3$ ) (Foto 2).



Foto 2: Asid oksalik (kiri) dan ammonium bikarbonat (kanan) sebagai agen pemendak.

Penggunaan asid oksalik menghasilkan REE oksalat dan asid sulfurik sebagai sisa sampingan, manakala penggunaan ammonium bikarbonat menghasilkan REE karbonat dan ammonium sulfat sebagai sisa sampingan (Rajah 7).



Rajah 7: Perbandingan tindak balas kimia yang berlaku di antara penggunaan a) asid oksalik, dan b) ammonium bikarbonat sebagai agen pemendak.

Asid oksalik merupakan agen pemendak yang biasa digunakan kerana sifat keafinan (*affinity*) yang tinggi terhadap REE (Han, 2020). Penggunaan asid oksalik juga menghasilkan kandungan REE yang tinggi dalam REE oksalat.

Namun begitu, penggunaan ammonium bikarbonat adalah lebih praktikal bagi industri perlombongan berskala besar kerana ia bukan sahaja menghasilkan kos dan impak alam sekitar yang minima, malah ammonium sulfat yang terhasil sebagai sisa sampingan boleh digunakan semula sebagai *lixiviant*.

Justeru, kaedah ISL memerlukan kajian geologi lapangan yang komprehensif dan spesifik di satu-satu kawasan dari aspek-aspek seperti struktur hidrogeologi, kandungan REE dan ciri-ciri lempung. Kaedah ini hanya terpakai bagi lempung mengandungi REE yang mempunyai sifat ketelapan yang sesuai dan melapisi batuan dasar perumah tanpa sebarang retakan.

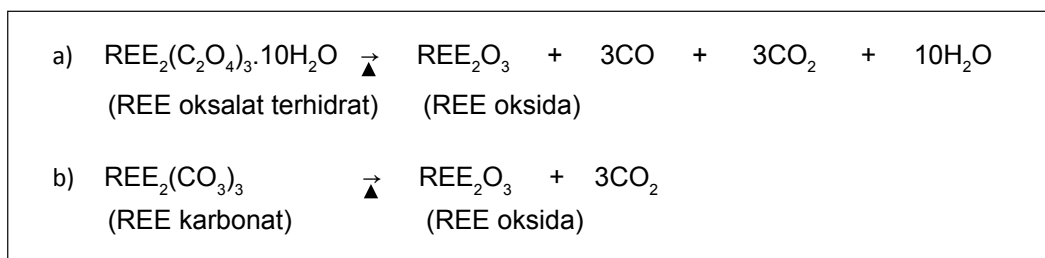
Terdapat dua peringkat pemendakan menggunakan ammonium bikarbonat di mana bendasing seperti Fe dan Al dapat disingkirkan terlebih dahulu sebelum pemendakan REE karbonat dihasilkan.

Selain sebagai agen pemendak, ammonium bikarbonat juga bertindak meningkatkan nilai pH larutan. Nisbah kepekatan (mol) ammonium bikarbonat kepada bijih RE (*rare earth ore*, REO) bernilai 1:1 menghasilkan pH kepada nilai 5, manakala nilai nisbah melebihi 3 meningkatkan pH kepada nilai 8.

- a. Peringkat Pertama: Penyingkiran bendasing seperti Fe dan Al secara pemendakan menggunakan larutan pH bernilai 5.
- b. Peringkat Kedua: Pemendakan REE menggunakan larutan pH melebihi nilai 8.

Bagi mendapatkan hasil REE yang maksima, nisbah molar ammonium bikarbonat kepada REO bernilai 4:1 digunakan.

Selepas proses pemendakan, penghasilan RE oksida dilakukan melalui proses pengkalsinan pada suhu optimum, iaitu 900°C (Rajah 8).



Rajah 8: Penghasilan REE oksida melalui proses pengkalsinan daripada a) REE oksalat terhidrat, dan b) REE karbonat.

## 6.0 ISU-ISU ALAM SEKITAR

Perlombongan REE yang tidak dilakukan mengikut kaedah yang selamat boleh menyebabkan banyak isu alam sekitar seperti yang telah berlaku di negara China.

### 6.1 Perlombongan REE daripada Sumber Sekunder

Pada masa dahulu, kaedah perlombongan REE daripada sumber sekunder lempung jerapan ion dilakukan melalui dua cara, iaitu kaedah larut resap kolam / timbunan (*pool / heap leaching*). Bermula tahun 2012, hanya kaedah ISL dibenarkan di China dengan mengambil kira isu pencemaran dan kerosakan alam sekitar.

#### 6.1.1 Kaedah Larut Resap Kolam / Timbunan (*Pool / Heap Leaching*)

Kaedah larut resap kolam / timbunan merupakan antara kaedah awal yang diperkenalkan bagi mengekstrak REE daripada lempung jenis jerapan ion.

Beberapa isu yang timbul disebabkan oleh kaedah larut resap kolam / timbunan adalah seperti:

- a) Penyahhutanan disebabkan oleh proses penggondolan tanah dan ekskavasi menyebabkan perubahan topografi dan keseimbangan alam

sekitar di mana akan meningkatkan kekerapan dan intensiti banjir serta bencana geologi yang lain.

- b) Pencemaran yang menyumbang kepada kehilangan kekal ekosistem, hakisan tanah yang teruk, pencemaran udara, kehilangan biodiversiti serta masalah kesihatan.
- c) Sisa buangan lombong seperti selut (*slurry*) dan air cemar yang tinggi kandungan ammonium sulfat serta logam berat.
- d) Proses rehabilitasi kawasan bekas lombong melibatkan kos yang sangat tinggi.

Di Ganzhou, penggunaan kaedah larut resap kolam / timbunan telah mengakibatkan peningkatan mendadak jumlah penerokaan hutan daripada 25 km persegi kepada 153 km persegi dalam tempoh 10 tahun sejak tahun 2000, dan menghasilkan 191 juta tan hampas / sisa. Walaupun perlombongan REE berjaya menjana pulangan sebanyak USD300 juta setahun, kos pemuliharaan alam sekitar yang telah terjejas teruk adalah lebih tinggi, iaitu sekitar USD5.8 bilion (Su, 2009; Yang *et al.*, 2013).

### **6.1.2 Kaedah Larut Resap Setempat (ISL)**

Kaedah ISL diperkenalkan pada pertengahan tahun 1980-an bagi menggantikan kaedah larut resap kolam / timbunan yang lebih menjejaskan alam sekitar.

Secara amnya, penggunaan kaedah ini melibatkan penggondolan tanah yang minima bagi proses pengekstrakan REE.

Namun begitu, kaedah ini hanya sesuai dilaksanakan di kawasan yang berbukit atau bercerun. Justeru itu, kajian geologi dan geoteknikal yang komprehensif termasuk hidrogeologi, genesis dan gred REE, komposisi profil luluhawa, struktur dan sebagainya amat diperlukan di satu-satu kawasan sebelum kaedah ini diguna pakai. Hasil kajian intensif ini dapat menilai jumlah *lixiviant* yang diperlukan dan tahap perolehan larutan kaya REE (*pregnant solution*), malah boleh mengurangkan risiko pencemaran air tanah dan air permukaan, runtuh lombong serta tanah runtuh selepas proses perlombongan selesai (Foto 3).

Di Ganzhou, penggunaan kaedah ISL yang tidak dikawal telah mengakibatkan peningkatan kandungan ammonia dalam air bawah tanah, sekali gus meningkatkan nilai pH, manakala pencemaran sulfat menyebabkan

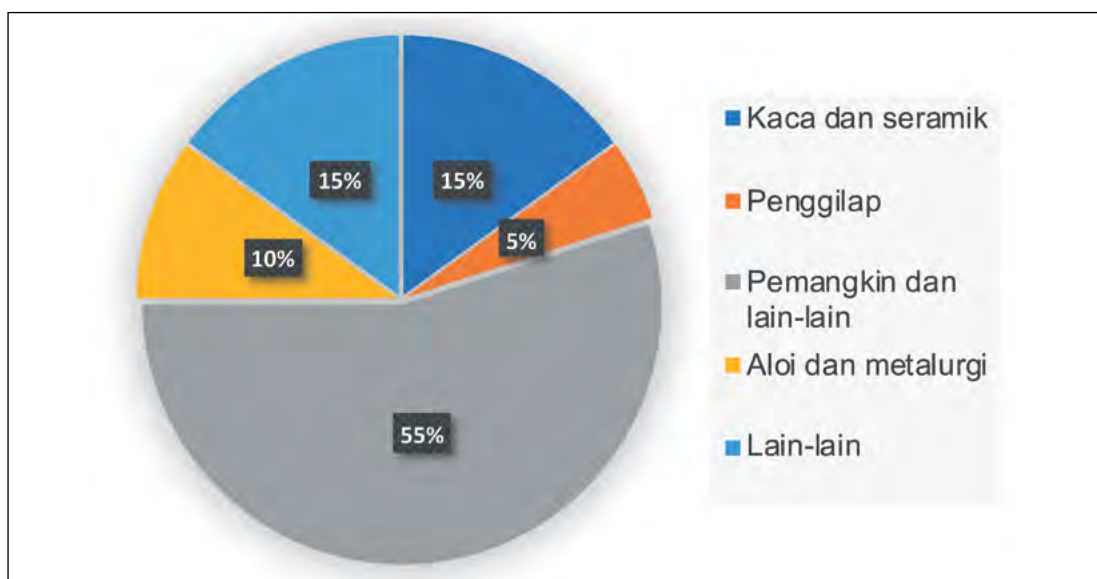
peningkatan kandungan hidrogen sulfida yang bersifat toksik kepada hidupan dan tumbuhan akuatik (Liu, 2002; Palmer *et al.*, 2010).



Foto 3: Perlombongan REE yang tidak mengikut prosedur operasi standard (SOP) boleh menyebabkan kerosakan alam sekitar seperti tanah runtuh.

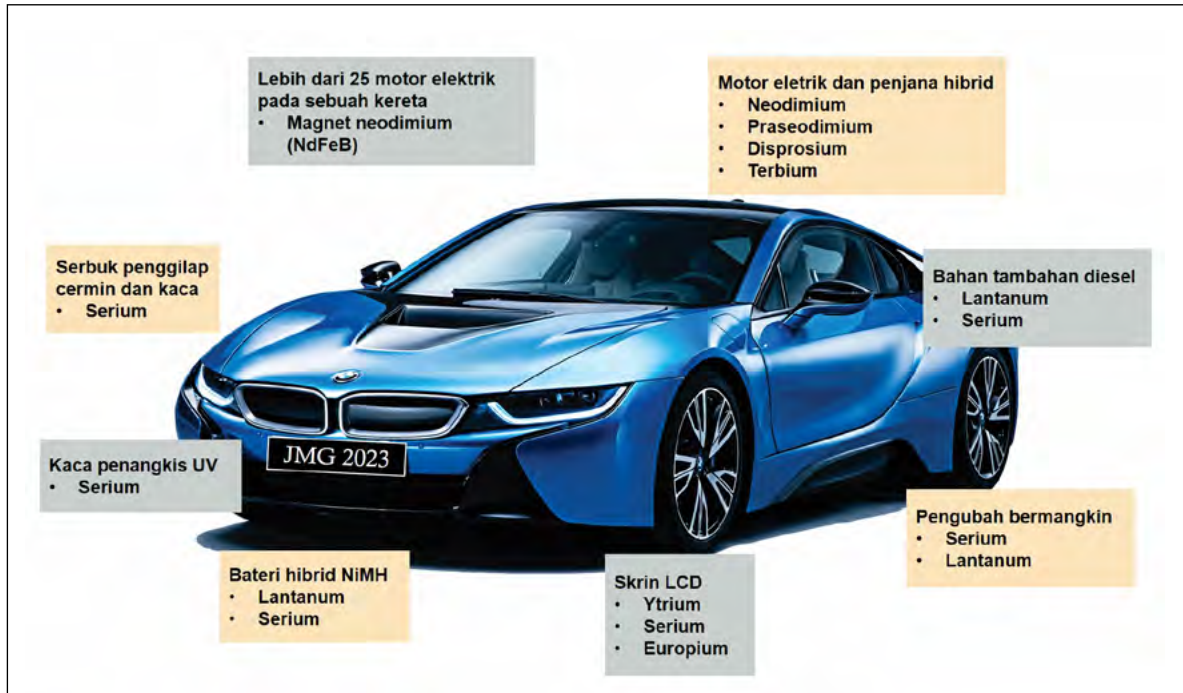
## 7.0 KEGUNAAN REE DALAM INDUSTRI

REE mempunyai kegunaan yang pelbagai dan meluas dalam industri termaju seperti industri kereta, elektronik, minyak dan gas, teknologi hijau, pertahanan dan sebagainya (Rajah 9 dan Rajah 10).



Rajah 9: Kegunaan REE global (selepas Balaram, 2019)





Rajah 10: Bahagian komponen kenderaan yang menggunakan REE.

## 7.1 Pembuatan Magnet Kekal Berkekuatan Tinggi

Unsur-unsur Lantanida (kecuali Lu, Yb dan Ce) bersifat paramagnetik, iaitu mengandungi elektron tidak berpasangan di bahagian orbit luar. Hal ini membolehkan unsur-unsur ini berinteraksi dengan medan elektrik persekitaran. Putaran elektron ini dapat menghasilkan medan magnet yang sangat kuat apabila diselaraskan, sekali gus berupaya dijadikan magnet padat yang berkekuatan tinggi. Contoh magnet nadir bumi yang digunakan pada masa kini ialah magnet *samarium-cobalt* (SmCo) dan *neodymium-iron-boron* (NdFeB). Unsur-unsur Dy dan Pr juga digunakan untuk menggantikan Nd dalam penghasilan magnet NdFeB.

Magnet berasaskan REE telah terbukti mempunyai kekuatan yang jauh lebih tinggi berbanding magnet jenis lain. Magnet jenis ini digunakan dalam pembuatan cakera padat, kenderaan elektrik, turbin angin dan pembesar suara dalam peranti termasuklah telefon pintar.

Permintaan ke atas magnet berkekuatan tinggi semakin meningkat dalam beberapa tahun kebelakangan ini. Hal ini disebabkan oleh tren global dalam penggunaan telefon pintar, tablet, industri teknologi hijau seperti pembuatan kereta hibrid dan elektrik serta turbin angin.

## 7.2 Pembuatan Bateri Berprestasi Tinggi

Selain magnet berkuasa tinggi pada motor elektrik, REE seperti La, Ce, Nd dan Pr turut diperlukan untuk pembuatan elektrod antara logam pada bateri *nickel-metal hydride* (NiMH). Bateri NiMH bukan sahaja boleh dicas semula, malah mempunyai keupayaan menyimpan dan menghasilkan tenaga yang lebih lama daripada bateri *nickel-cadmium* (NiCd) yang mempunyai saiz yang setara.

## 7.3 Penghasilan Fosfor untuk Lampu dan Skrin

REE seperti Ce, La, Eu, Tb, Gd dan Y amat diperlukan bagi menghasilkan fosfor yang berkeupayaan menghasilkan cahaya tanpa penjanaan haba.

Fosfor juga digunakan dalam pembuatan skrin pada TV, komputer dan projektor serta telefon pintar.

## 7.4 Industri Penyulingan Petroleum

Dalam industri penyulingan petroleum, REE seperti La dan Ce amat diperlukan dalam proses *Fluid Catalytic Cracking* (FCC) iaitu pemecahan minyak mentah pada suhu tinggi dan pecahan hidrokarbon berat molekul tinggi kepada petrol, gas olefinik dan produk lain yang bernilai lebih tinggi.

## 7.5 Industri Pertahanan

Penciptaan bahan berteknologi tertinggi daripada REE seperti magnet kekal SmCo dan NdFeB turut mendorong permintaan tinggi REE dalam industri pembuatan kelengkapan bagi tujuan pertahanan dan ketenteraan (Grasso, 2013).

Antara kegunaan REE dalam industri berkaitan pertahanan dan ketenteraan ialah:

- a) Pengaplikasian magnet kekal dalam jentera / motor elektrik seperti dalam jet pejuang, kapal selam dan kenderaan tempur (Nd, Pr, Sm, Dy, Tb);
- b) Menambah baik sistem kawalan penggerak sirip misil (Nd, Pr, Sm, Dy, Tb);
- c) Penyimpanan tenaga, kapasitan dan peningkat ketumpatan bagi kelengkapan elektronik dan senjata berketepatan tinggi (pelbagai REE); dan
- d) Meningkatkan resolusi signal radar dan sonar serta pengesan radiasi dan kimia (Nd, Y, La, Lu, Eu).

## 8.0 EKSPLORASI REE

Eksplorasi REE merujuk kepada kerja-kerja mencari petunjuk pemineralan dan pengayaan REE di lapangan berdasarkan pengetahuan geologi bagi menentukan sumber mineral tersebut.

### 8.1 Peringkat Kajian

Pelaksanaan eksplorasi REE terbahagi kepada dua peringkat kajian, iaitu peringkat tinjauan dan peringkat susulan.

#### 8.1.1 Kajian Tinjauan

Kajian tinjauan bertujuan untuk mendapatkan gambaran menyeluruh berkaitan kawasan terpilih untuk dijadikan pertimbangan kesesuaian untuk kajian susulan. Faktor-faktor yang diambil kira meliputi aspek lokasi, sumber, kualiti dan permintaan semasa sumber REE.

Sela persampelan yang disarankan ialah 500 m hingga 1,000 m, bergantung kepada kesesuaian keluasan kawasan kajian.

Sumber teragak (*inferred resource*) REE juga boleh ditentukan berdasarkan hasil kajian tinjauan.

#### 8.1.2 Kajian Susulan

Kajian susulan dilakukan bagi mendapatkan data yang lebih terperinci dan tepat bagi tujuan pelaporan sehingga maklumat sumber terukur (*measured resource*) dapat ditentukan selepas kajian tinjauan selesai dilaksanakan.

Faktor-faktor yang diambil kira bagi satu-satu kawasan sesuai untuk kajian susulan ialah kandungan TREE purata, topografi, geomorfologi, status tanah, jenis guna tanah dan sebagainya.

Bagi deposit REE jenis lempung jerapan ion, kawasan yang mempunyai nilai purata TREE melebihi 300 ppm berdasarkan kajian tinjauan dianggap berpotensi untuk kajian susulan.

Bagi menyelaraskan pengurusan dan pengiraan sumber terukur, luas optimum kawasan kajian yang dicadangkan adalah 1 km persegi. Untuk memenuhi keperluan pensampelan mengikut piawaian statistik, pensampelan perlu dilakukan secara grid dengan sela maksimum 200 m dan sejumlah sekitar 25 hingga 30 titik pensampelan.

## 8.2 Persiapan Awal

Persiapan awal diperlukan bagi mendapatkan gambaran awal kawasan eksplorasi yang dipilih untuk perancangan kerja lapangan dan menentukan kaedah pensampelan, seterusnya kelengkapan yang diperlukan. Pegawai projek hendaklah merujuk dan meneliti maklumat sedia ada berkaitan kawasan kajian bagi membantu membuat keputusan dan perancangan.

### 8.2.1 Rujukan Perpustakaan dan Arkib

- a. Meneliti semua maklumat terdahulu yang telah diterbitkan dan tidak diterbitkan berkaitan kawasan kajian.
- b. Meneliti dan memahami maklumat geologi sedia ada seperti formasi batuan, litologi dan jenis batuan igneus.

### 8.2.2 Rujukan Peta Topografi dan Penderiaan Jauh

- a. Untuk mendapatkan gambaran topografi dan geomorfologi kawasan kajian di samping maklumat perhubungan, penempatan, kawasan pembangunan dan lain-lain.
- b. Pentafsiran foto udara dan imej satelit dilakukan bagi mendapatkan gambaran secara menyeluruh terhadap fitur-fitur geologi seperti lineamen dan sesar yang boleh menyokong pelaksanaan kajian di lapangan.

### 8.2.3 Penyediaan Peta Dasar

- a. Semua maklumat penting yang diperoleh perlu ditanda pada peta dasar dengan skala yang sesuai bagi memudahkan rujukan sama ada di pejabat atau di lapangan.
- b. Peta dasar yang biasa digunakan adalah berskala minimum 1:10,000, di mana maklumat topografi dan akses terkini di kawasan kajian ditunjukkan.

### 8.2.4 Keperluan Kerja Lapangan

- i) Peta dasar (berskala 1:10,000 atau lain-lain yang bersesuaian).
- ii) Kompas dan peranti GPS.
- iii) Tukul geologi, kanta tangan dan buku nota.

- iv) Pen dan pen penanda.
- v) Pita pengukur 50 m atau 100 m.
- vi) Kayu pancang dan pita penanda.
- vii) Dulang dan penyodok.
- viii) Peralatan gerimit tangan (Gannan *hand auger* atau lain-lain yang bersesuaian).
- ix) Pengayak (*sieve*), mortar porselin, berus, penghembus angin (*air blower*), alat pengedap (*sealer*) dan plastik sampel.
- x) Kumpulan kerja: 1 Pegawai Geosains (ahli geologi), 1 Pembantu Geosains dan 3 – 5 pekerja am.

### 8.3 Kaedah Kajian

Kaedah kajian meliputi cerapan lapangan, pensampelan, penyediaan sampel, analisis / ujian makmal dan pentafsiran data.

#### 8.3.1 Cerapan Lapangan

Cerapan lapangan melibatkan pemetaan geologi, cerapan singkapan dan pencirian batuan / profil luluhawa / endapan plaser di mana REE dijangka berpotensi.

Bagi profil luluhawa, ciri-ciri fizikal seperti jenis dan saiz butiran, warna dan peratusan lempung serta ketebalan setiap horizon direkod. Warna lempung direkod berdasarkan Carta Warna Tanah Munsell. Maklumat mineral dan pecahan batuan serta peratusannya perlu direkodkan mengikut pecahan saiz: sangat kasar (>30 mm), kasar (5 – 30 mm), sederhana (1 – 5 mm) dan halus (<1 mm).

Cerapan lapangan yang lebih terperinci dilakukan bagi kajian peringkat susulan.

Cerapan lapangan biasanya dilakukan melalui kaedah trabas menggunakan kompas, klinometer, pita pengukur, alat GPS dan peta dasar.

Maklumat kecerunan am kawasan kajian juga hendaklah dikenal pasti dan direkodkan.

Kesemua lokasi cerapan ditandakan dalam peta dasar, manakala maklumat-maklumat cerapan direkodkan di dalam borang cerapan (Lampiran 8) dan log pensampelan lubang dalam (Lampiran 9).

### 8.3.2 Pensampelan

Pensampelan merangkumi media tanah, konsentrat dan batuan (Jadual 2), bergantung kepada jenis deposit REE yang dikaji. Lokasi pensampelan perlu ditandakan bagi tujuan rujukan dan semakan semula di lapangan pada masa akan datang.

Jadual 2: Media dan kaedah pensampelan serta kuantiti sampel yang diperlukan mengikut jenis deposit REE.

Jenis deposit	Media pensampelan	Kaedah pensampelan	Kuantiti sampel
Sekunder: Lempung jerapan ion (granit terluluhawa)	Tanah	Alur / Penggerimitan	1.0 kg
	Batuan*	Cebisan	0.5 – 2.0 kg
	Konsentrat*	Mendulang	3 – 5 dulang piawai (10 – 30 g berat bersih)
Sedimen: Deposit plaser (sisa pasir lombong bijih timah)	Konsentrat	Mendulang	3 – 5 dulang piawai (10 – 30 g berat bersih)
Batuan: Metapelit, grafit, arang batu dan nodul bauksit	Batuan	Cebisan	0.5 – 2.0 kg

\* untuk maklumat nilai latar belakang dan kajian mineralogi dan petrologi.

#### 8.3.2.1 Lempung Jerapan Ion

Bagi granit terluluhawa, media pensampelan melibatkan tanah daripada profil luluhawa dan batuan segar.

Bagi kajian tinjauan, pensampelan dicadangkan pada horizon A, horizon B dan horizon C bagi setiap profil luluhawa. Sampel batuan dan konsentrat yang representatif juga perlu diambil bagi menentukan nilai latar belakang REE.

Bagi kajian susulan, pensampelan tanah ditumpukan pada horizon B bagi setiap profil luluhawa. Pensampelan tanah pada horizon A dan horizon C juga dilakukan pada profil luluhawa terpilih.

Persampelan tanah mengikut sela kedalaman yang seragam (seperti setiap 1 m) pada lubang dalam juga boleh dilakukan di lokasi terpilih. Lubang dalam ini berperanan sebagai lubang kawalan (*control hole*).

Persampelan batuan segar *in situ* diutamakan bagi mendapatkan nilai latar belakang REE, berbanding sampel batuan terluluhawa dan bongkah.

Sampel konsentrat daripada profil luluhawa terpilih juga boleh diambil bagi mengetahui mineral-mineral RE yang mungkin menyumbang kepada pengayaan REE dalam lempung jerapan ion.

Persampelan tanah biasanya dilakukan pada singkapan potongan cerun menggunakan penyodok dan penukul. Sekiranya potongan cerun tidak tersingkap, pensampelan menggunakan Gannan *hand auger* dan peralatan lain yang sesuai juga boleh dilakukan (Foto 4 dan Foto 5).

Setiap sampel hendaklah dibungkus dan dilabel dengan cermat di mana lokasi, jenis horizon serta kedalaman sampel dibezakan.

#### **8.3.2.2 Deposit Plaser**

Media pensampelan yang diambil ialah konsentrat melalui kaedah mendulang.

Sampel batuan induk (*parent rock*) yang representatif juga boleh diambil bagi menentukan nilai latar belakang kandungan mineral RE.

Pensampelan yang lebih rapat iaitu sekitar 50 – 100 m dilakukan bagi kajian susulan.

Peralatan seperti cangkul, gerimit tangan dan *sludge pump* serta jengkaut juga boleh digunakan bagi mendapatkan sampel di lapisan yang lebih dalam (Foto 6).

Setiap sampel hendaklah dibungkus dan dilabel dengan cermat di mana lokasi serta kedalaman sampel dibezakan.



Foto 4: Pensampelan pada potongan cerun pada horizon B secara alur.



Foto 5: Pensampelan tanah menggunakan mesin auger mata pilin (kiri) dan Gannan *hand auger* (kanan).





Foto 6: Persampelan konsentrat daripada deposit plaser menggunakan *sludge pump*.

### 8.3.2.3 Batuan

Pensampelan dilakukan ke atas batuan segar in situ pada sela 100 – 500 m mengikut kesesuaian, tetapi lebih rapat bagi kajian susulan.

Sampel diambil menggunakan tukul geologi, baji atau peralatan lain yang sesuai. Berat sampel yang diambil bagi setiap lokasi ialah sekitar 0.5 – 2.0 kg.

Sampel dipecahkan kepada saiz lebih kecil sebelum dibungkus dan dilabel dengan cermat.

### 8.3.3 Penyediaan Sampel

Penyediaan sampel perlu dibuat semasa di lapangan atau di pejabat bagi memastikan sampel siap untuk dihantar ke makmal atau disimpan sebagai rujukan. Ringkasan penyediaan sampel ditunjukkan dalam Jadual 3.

Jadual 3: Penyediaan sampel dan jenis analisis / ujian makmal.

Bil.	Jenis sampel	Ciri sampel	Berat sampel (g)	Jenis analisis / ujian makmal
1.	Tanah	Dikering dan diayak (saiz 150 – 400 µm)	200	XRF, XRD, LA-ICP-MS
2.	Batuan	Pecahan (2 – 4 cm)	300 – 500	XRF, XRD, LA-ICP-MS, petrografi
3.	Konsentrat	Didulang bersih	20	QME, XRF, XRD, LA-ICP-MS, FESEM*

\* dilakukan jika perlu

### 8.3.3.1 Tanah

Penyediaan sampel tanah melibatkan proses pengeringan dan pengayakan.

Sampel tanah perlu dikeringkan sebelum proses pengayakan dilakukan. Kerja-kerja pengeringan digalakkan untuk dilakukan di lapangan bagi mengurangkan masalah pengangkutan dan ruang kerja di pejabat. Nombor sampel tidak boleh dipisahkan dengan sampel sepanjang proses pengeringan.

Pengeringan sampel boleh dilakukan sama ada di bawah teduh pada suhu bilik, di bawah cahaya matahari atau menggunakan ketuhar pada suhu 50°C. Kajian orientasi perlu dilakukan bagi mendapatkan kaedah pengeringan yang dapat memberikan kandungan REE yang maksimum di satu-satu kawasan kajian.

Pengayakan sampel tanah dilakukan bagi menyingkirkan mineral-mineral bersaiz kasar seperti kuarza dan mineral RE sebelum analisis / ujian makmal dilakukan.

Secara amnya, saiz pengayak yang halus (75 µm) adalah yang terbaik kerana butiran tanah bersaiz lodak dapat dikumpulkan. Namun begitu, penggunaan pengayak bersaiz 150 – 400 µm adalah lebih praktikal digunakan (Lampiran 10).

Selain pengayak piawai keluli tahan karat, peralatan lain yang diperlukan ialah mortar porselin, berus, penghembus angin, bekas yang sesuai, alat pengedap, plastik sampel dan pen penanda.

Perkara berikut perlu diikuti untuk kerja-kerja pengayakan:

- i. Sampel hendaklah kering sepenuhnya sebelum diayak.
- ii. Mortar porselin digunakan untuk meleraikan sampel-sampel yang melekat, bukannya untuk menghancurkan butiran mineral.
- iii. Kerja-kerja mengayak perlu dibuat dengan cermat bagi mengelakkan pencemaran (*contamination*).
- iv. Sampel diayak sebanyak 200 g dan dibahagikan mengikut kaedah penyukuan dan pemisahan (*quartering and splitting*) kepada 4 bahagian. 3 bahagian untuk ujian / analisis makmal manakala 1 bahagian lagi untuk simpanan.

### 8.3.3.2 Konsentrat

Sampel konsentrat perlu dikeringkan terlebih dahulu sebelum diasingkan mineral-mineral ringan termasuk kuarza dengan menggunakan cecair Bromoform.

Sampel kemudian dibilas dengan spirit metil dan air suling bagi menghilangkan kesan Bromoform sebelum dikeringkan sekali lagi.

Akhir sekali, sampel ditimbang, dibungkus dan dilabelkan dengan cermat.

### 8.3.3.3 Batuan

Sampel hendaklah dibersihkan dan dipecahkan kepada saiz yang lebih kecil (2 cm – 4 cm).

Sampel-sampel dibahagikan kepada empat bungkusan dengan berat 100 g – 300 g setiap satu untuk ujian / analisis makmal dan simpanan. Sampel batuan yang sesuai diasingkan untuk irisan nipis bagi kajian petrografi.

Sampel-sampel kemudian dibungkus dan dilabelkan dengan cermat.

### 8.3.4 Analisis / Ujian Makmal

Bagi sampel tanah, analisis / ujian makmal yang perlu dijalankan ialah:

- i. Analisis XRF bagi menentukan peratusan komposisi kimia major ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  dan  $\text{MnO}$ ).
- ii. Analisis LOI bagi menentukan kandungan wap air.
- iii. Analisis LA-ICP-MS bagi menentukan kandungan REE, Th dan U.
- iv. Ujian XRD bagi menentukan jenis mineral, termasuk mineral RE dan lempung.

Ujian SEM / FESEM juga boleh dijalankan ke atas sampel tanah bagi menentukan jenis mineral yang wujud secara morfologi.

Bagi sampel batuan, analisis / ujian makmal yang diperlukan ialah XRF, LOI, LA-ICP-MS, dan XRD. Ujian SEM / FESEM dan kajian petrografi juga boleh dilakukan.

Bagi sampel konsentrat pula, ujian makmal yang perlu dijalankan ialah ujian QME untuk mengetahui peratusan dan jenis mineral RE. Analisis XRF juga boleh

dijalankan untuk mengetahui komposisi kimia major dalam mineral konsentrat. Ujian XRD atau SEM pula boleh dilakukan bagi menentusahkan mineral RE yang diperoleh daripada keputusan analisis QME secara morfologi, jika perlu.

Proses pengekstrakan mineral RE daripada konsentrat ditunjukkan dalam Lampiran 11 manakala proses pengekstrakan REE dari batuan luluhawa ditunjukkan di Lampiran 12 bagi analisis menggunakan LA-ICP-MS.

Carta alir kaedah ujian XRF yang dijalankan adalah seperti di Lampiran 13, manakala carta alir ujian XRD ditunjukkan dalam Lampiran 14. Carta alir bagi analisis LA-ICP-MS pula adalah seperti ditunjukkan pada Lampiran 15.

Ujian petrografi hendaklah juga dilaksanakan untuk menentukan jenis mineral dan kewujudan mineral berat / gelap serta untuk penamaan batuan.

### **8.3.5 Kajian Sokongan**

Kajian sokongan dilaksanakan untuk mendapatkan maklumat tambahan seperti ketebalan zon luluhawa bagi penentuan jumlah sumber tanah yang berpotensi REE.

#### **8.3.5.1 Survei Geofizik**

Survei geofizik dapat memberi maklumat tambahan bagi mengenal pasti ketebalan lapisan atau zon luluhawa batuan, struktur dan zon terubah. Antara kaedah survei geofizik yang sesuai ialah seismik pembiasan (*refraction seismic*), keberintangan elektrik (*electrical resistivity*) dan pengutuban teraruh (*induced polarization, IP*). Pemilihan kaedah survei geofizik bergantung kepada kos dan kesesuaian kawasan. Contoh keputusan survei geofizik ditunjukkan dalam Lampiran 16.

#### **8.3.5.2 Penggerudian**

Kaedah penggerudian digunakan bagi mendapatkan sampel teras untuk mengenal pasti taburan mineral dalam zon luluhawa yang berpotensi. Penggerudian dilaksanakan sehingga ke batuan dasar bagi mewakili profil menegak yang lengkap. Sampel teras yang diperoleh akan dikaji daripada aspek litologi, petrologi, mineralogi, komposisi kimia dan ujian fizikal.

### 8.3.5.3 Ujian Pemendakan

Ujian pemendakan dijalankan di lapangan sebagai langkah pengesanan awal bagi mensempadankan kawasan yang berpotensi.

Kaedah larut resap (*leaching*) diguna pakai dengan menambah larutan ammonium sulfat  $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$  berkepekatan 0.3 M ke atas sampel lempung jerapan ion, di mana berlaku penggantian ion ammonia dengan ion REE yang dijerap pada lempung. REE kemudian dipindahkan ke larutan sebagai REE sulfat terlarut  $[\text{REE}_2(\text{SO}_4)_3]$  (Foto 7).

REE sulfat terlarut kemudiannya dicampurkan asid oksalik ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) kepada pH 2.5 untuk dimendakkan sebagai REE-oksalat  $[\text{REE}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$ . (Nawab *et al.*, 2022). Kehadiran REE oksalat dapat dikenal pasti dengan perubahan kekeruhan (Foto 8). Semakin keruh larutan, semakin tinggi kandungan REE oksalat. Larutan asid oksalik juga boleh digantikan dengan ammonium bikarbonat, namun begitu nilai pH yang tidak dikawal berkemungkinan menyebabkan ion-ion logam lain turut dimendakkan hingga menunjukkan kekeruhan.

### 8.3.6 Interpretasi Data

Data yang diperoleh dari makmal perlu dianalisis secara statistik ringkas seperti penentuan nilai purata, minimum dan maksimum. Contoh persembahan data XRF dan LA-ICP-MS ditunjukkan dalam Lampiran 17 dan Lampiran 18.



Foto 7: Ujian pemendakan dilakukan di lapangan dengan menitiskan larutan ammonium sulfat ke atas sampel lempung.



Foto 8: Pemendakan REE oksalat di dalam larutan asid oksalik.

### 8.3.6.1 Anomali REE

Bagi keputusan analisis LA-ICP-MS, anomali Ce/Ce\*, anomali Eu/Eu\* dan anomali La/Yb dihitung dan dipersembahkan secara bersama (Lampiran 19). Graf penormalan kondrit (*Chondrite normalizing factor*) berdasarkan nilai-nilai yang diperkenalkan oleh Sun & Mc Donough (1989) juga dihasilkan (Lampiran 20).

Anomali Ce ialah Ce/Ce\* dan ditakrifkan sebagai  $[Ce_N / (La_N * Pr_N)^{0.5}]$ , di mana N adalah nilai normal (Compton *et al.*, 2003). Anomali Ce boleh menunjukkan nilai negatif (<1) atau positif (>1). Anomali Ce positif ditakrifkan sebagai kelimpahan Ce<sup>4+</sup> atau dalam keadaan oksidasi di mana Ce<sup>3+</sup> teroksidasi kepada Ce<sup>4+</sup> oleh MnO dan FeO membentuk oksida mangan dan besi mengandungi Ce atau cerianit. Anomali positif Ce biasa ditemui dalam horizon berlaterit (Bao & Zhao, 2008; Braun *et al.*, 1990). Dalam air laut, cerium wujud dalam bentuk Ce<sup>4+</sup> di mana ia mudah mengalami hidrolisis dan terenap bersama mangan. Oleh itu nodul mangan marin mempunyai anomali Ce positif, manakala deposit biogenik dan kimia mempunyai anomali Ce negatif seperti di dalam air laut (Khadijeh *et al.*, 2009).

Biasanya corak REE dalam lempung jerapan ion menunjukkan anomali Ce negatif yang tinggi di mana kebanyakan REE<sup>3+</sup> dengan sedikit Ce<sup>3+</sup> diangkut dari bahagian atas ke bawah, menyebabkan pengayaan REE dengan anomali Ce negatif. Perubahan ketara anomali Ce dari positif ke negatif boleh digunakan untuk menentukan paras air tanah semasa proses peluluhawaan (Sanematsu *et al.*, 2013).

Anomali Eu ialah Eu/Eu\* dan ditakrifkan sebagai  $[Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{0.5}]$ , di mana N adalah nilai normal. Anomali Eu merupakan indikasi input aeolian dan hidroterma, keadaan reduksi kuat atau kehadiran feldspar plagioklas detrital.

Nisbah La/Yb menunjukkan fraksinasi antara HREE dan LREE. Nilai La/Yb tinggi menunjukkan pengayaan LREE dan penurunan HREE dan Y. Ini disebabkan oleh perbezaan ketahanan peluluhawaan antara REE fluorkarbonat dan zirkon. REE fluorkarbonat kaya dengan LREE kebanyakannya terurai oleh peluluhawaan kimia, manakala zirkon mengalami peluluhawaan kimia yang sedikit (Sanematsu & Kon, 2013).

Unsur Sc secara amnya bergabung di dalam piroksen dan amfibol daripada batuan mafik atau ultramafik serta tidak mengalami pengayaan dalam batuan granit.



### 8.3.6.2 Taburan REE

Taburan kepekatan TREE, THREE dan TLREE dalam kawasan kajian dipersembahkan mengikut lokasi pensampelan dan diinterpolasi menggunakan kaedah Kriging, *Inverse Distance Weighting* (IDW) dan sebagainya melalui perisian ArcGIS atau perisian yang bersesuaian (Lampiran 21).

Nilai berekonomi bagi setiap REE juga boleh diplot berdasarkan Jadual 4 bagi menentukan lokasi keutamaan bagi tujuan pengusahahasilan.

Jadual 4: Nilai berekonomi IAC-REE.

Unsur	Gred Penggal (cut-off grade) (ppm)	Gred Pengeluaran (production grade) (ppm)
La	100	200
Ce	120	220
Pr	25	50
Nd	100	150
Sm	15	30
Eu	3	5
Gd	20	30
Tb	3	5
Dy	10	20
Ho	3	5
Er	8	15
Tm	1	2
Yb	10	20
Lu	2	4
Y	75	150
Sc	100	300
REE	500	800

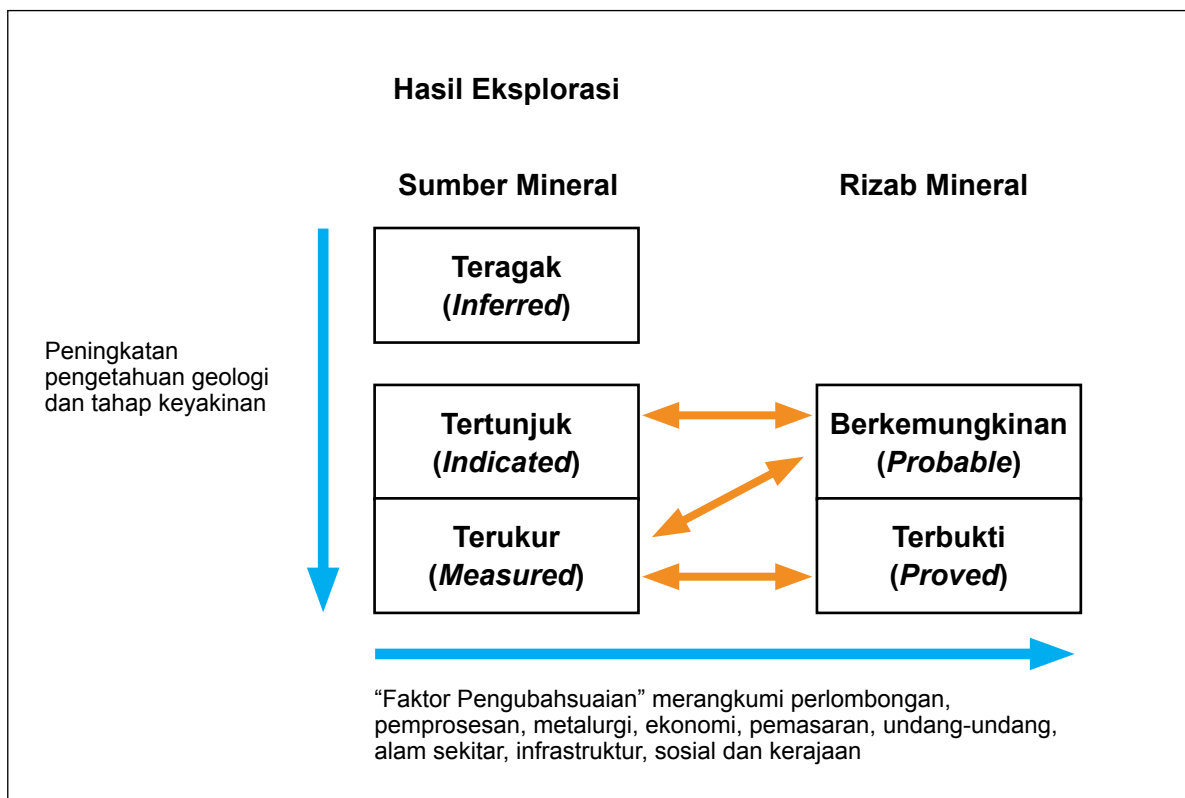
(diubahsuai selepas Chasse *et al.* (2017), Wang *et al.* (2018) dan Teitler *et al.* (2019))

## 9.0 PENILAIAN SUMBER DAN RIZAB REE

Penilaian sumber dibuat berdasarkan kepada hasil eksplorasi mineral. Tahap keyakinan penilaian akan meningkat bergantung kepada bilangan sampel yang diambil dan kaedah persampelan, seperti persampelan secara rawak atau secara grid yang konsisten. Ini secara langsung akan memberi kesan kepada kajian kebolehlaksanaan (*feasibility study*) dalam permohonan pajakan perlombongan.

### 9.1 Definisi Sumber Mineral

Sumber mineral didefinisikan sebagai kepekatan atau kewujudan sesuatu mineral yang mempunyai nilai ekonomi di dalam atau di atas kerak bumi dalam bentuk, kualiti dan kuantiti sehingga terdapat prospek yang sesuai untuk dilombong. Sumber mineral dikategorikan kepada sumber teragak, sumber tertunjuk dan sumber terukur mengikut tahap pengetahuan dan keyakinan geologi. Perkaitan antara sumber mineral dengan rizab mineral ditunjukkan dalam Rajah 11.



Rajah 11: Perkaitan antara hasil eksplorasi, sumber mineral dan rizab mineral (selepas CRIRSCO, 2013).

### **9.1.1 Sumber Teragak (*Inferred Resource*)**

*Tonnage*, gred dan kandungan mineral boleh dianggarkan dengan tahap kepastian yang rendah dan ia dianggarkan berdasarkan bukti geologi. Sela grid persampelan ialah melebihi 500 m.

### **9.1.2 Sumber Tertunjuk (*Indicated Resource*)**

*Tonnage*, ketumpatan, bentuk, ciri fizikal, gred dan kandungan mineral yang boleh dianggarkan dengan tahap kepastian yang munasabah. Ia berdasarkan kepada eksplorasi, persampelan dan maklumat ujian, lokasi lubang gerudi, lelubang, dan sebagainya yang berskala besar. Sela grid persampelan ialah 201 m hingga 500 m.

### **9.1.3 Sumber Terukur (*Measured Resource*)**

Bahagian sumber mineral di mana *tonnage*, ketumpatan, bentuk, fizikal, ciri, gred dan kandungan mineral boleh dianggarkan dengan kepastian yang bertahap tinggi contohnya berdasarkan kepada eksplorasi peringkat terperinci. Sela grid persampelan ialah 50 m hingga 200 m.

## **9.2 Rizab Mineral**

Terdapat perbezaan antara rizab mineral dan sumber mineral. Takrif istilah-istilah berkaitan yang digunakan dalam melaporkan rizab mineral adalah seperti ditunjukkan dalam Jadual 5.

Jadual 5: Definisi istilah berkaitan rizab mineral.

Istilah	Definisi
Rizab Mineral (atau rizab bijih)	Sumber yang diketahui boleh dilaksanakan dari segi ekonomi untuk dilombong
Rizab Berkemungkinan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sebahagian daripada sumber mineral terukur yang ditunjukkan, dan dalam beberapa keadaan, yang boleh dilombong dengan cara yang berdaya maju dari segi ekonomi.</li> <li>• Ia termasuk kehilangan larutan kaya REE (<i>pregnant solution</i>) yang mungkin berlaku semasa perlombongan.</li> <li>• Mempunyai tahap keyakinan yang lebih rendah daripada Rizab Terbukti tetapi mempunyai gred yang mencukupi untuk dijadikan asas bagi membangunkan lombong.</li> </ul>
Rizab Terbukti	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sebahagian daripada Sumber Terukur yang boleh dilombong dengan cara yang berdaya maju dari segi ekonomi.</li> <li>• Ia termasuk kehilangan larutan kaya REE (<i>pregnant solution</i>) yang mungkin berlaku semasa perlombongan.</li> <li>• Merupakan kategori keyakinan tertinggi anggaran rizab.</li> <li>• Corak pemineralan atau faktor-faktor lain seperti asosiasi dan pengayaan yang boleh mengesahkan Rizab Terbukti tidak dapat diperoleh dalam longgokan tertentu.</li> </ul>
Perihal Rizab Mineral	Sempadan batuan sumber dan profil terluluhawa hendaklah ditentukan.
Ketumpatan Pukal ( <i>bulk density</i> )	Keluasan kawasan eksplorasi bersama dengan kawalan jasad bijih, seperti mengikut strata dan profil terluluhawa hendaklah diperincikan.
Gred Penggal ( <i>cut-off grade</i> )	Gred minimum sesuatu bijih yang berekonomi untuk dilombong.

### 9.3 Pengiraan Sumber REE

Pengiraan sumber REE berdasarkan kepekatan *Total Rare Earth Element* (TREE) adalah seperti formula berikut:

Sumber REE (tan metrik)	=	Jumlah isi padu keseluruhan tanah (m <sup>3</sup> )	X	Ketumpatan pukal tanah (1.5 tan/m <sup>3</sup> )	X	Purata kepekatan TREE
----------------------------	---	---	---	--	---	-----------------------------

Contoh pengiraan sumber REE secara umumnya ditunjukkan dalam Jadual 6 di bawah:

Jadual 6: Contoh pengiraan sumber terukur REE

Jumlah isi padu keseluruhan tanah	= Luas kawasan kajian (m <sup>2</sup> ) x Ketebalan purata (m) = 1,000 m x 1,000 m x 10 m = 10,000,000 m <sup>3</sup>
Purata kepekatan TREE	= 609.89 ppm = 0.060989% = 0.60989 kg/tan
Sumber REE	= 10,000,000 m <sup>3</sup> x 1.5 tan/m <sup>3</sup> x 0.60989 kg/tan x 65% = 5,946,428 kg = 5.946 tan metrik / km <sup>2</sup> = 24 tan metrik / ekar

Nilai ketumpatan malar 1.5 tan/m<sup>3</sup> digunakan bagi mengira nilai sumber terukur REE berdasarkan keadaan tanah terkacau (*disturbed soil*).

Bagi IAC-REE, sumber REE yang dilarut resap dan dimendakkan ialah sebanyak 65% sahaja, manakala selebihnya kekal dalam bentuk bijih RE seperti mineral supergen dan mineral refraktori sisa (selepas Li *et al.*, 2019).

Bagi pengiraan yang lebih terperinci, pengiraan sumber REE mengikut sektor keutamaan dan sebagainya melalui kaedah lain seperti poligon Thiessen juga boleh digunakan seperti dalam Lampiran 22.

## 10.0 KAEDAH PENYEDIAAN LAPORAN

Format laporan perlu seragam bagi memudahkan kerja-kerja pemantauan dan penyelarasan. Kandungan laporan perlu disesuaikan mengikut objektif kajian dan contoh format senarai kandungan laporan adalah seperti di Lampiran 23 dan Lampiran 24.

### 10.1 Format Laporan

Umumnya format bagi penyediaan laporan teknikal Jabatan adalah seperti berikut:

**i) Bahasa**

Laporan boleh ditulis dalam bahasa Melayu atau bahasa Inggeris.

**ii) Teks**

Laporan perlu ditaip menggunakan komputer dan perisian pemprosesan perkataan (*word processor*) yang dipersetujui oleh Jabatan. Contohnya MS Word untuk teks dan perisian lain yang sesuai.

**iii) Kertas**

Warna putih, saiz A4.

**iv) Saiz huruf**

Untuk teks – saiz *font* digunakan adalah 12-*point*.

Untuk jadual – saiz *font* yang digunakan adalah mengikut kesesuaian.

Walau bagaimanapun, digalakkan menggunakan *font* 10-*point*.

**v) Jenis font**

Jenis *font* adalah Arial.

**vi) Birai**

Birai yang digunakan adalah seperti berikut dan *full justification*.

Birai Kiri : 30 mm

Birai Kanan : 25 mm

Birai Atas : 25 mm

Birai Bawah : 25 mm

**vii) Langkau baris (*spacing*)**

Langkau baris bagi keseluruhan teks adalah langkau 1.5 baris.

**viii) Penomboran halaman**

Untuk muka surat sebelum bab Pendahuluan, gunakan angka Roman kecil secara berturutan selepas kulit laporan, iaitu bermula dengan ii, iii, iv dan seterusnya. Untuk muka surat teks kandungan laporan, Rujukan, Bibliografi dan Lampiran diberi nombor biasa iaitu 1, 2, 3, 4 dan seterusnya.

**ix) Kedudukan nombor halaman**

Semua nombor muka surat hendaklah dicetak di tengah bahagian bawah muka surat dengan *font* Arial bersaiz 12-*point*.

**x) Header / Footer**

Semua muka surat laporan, bermula daripada muka surat “Kandungan”. “Tajuk laporan” perlu diletakkan di bahagian atas sebelah kanan di atas garisan sebagai *header* dan nama Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia di bahagian bawah sebelah kiri di bawah garisan sebagai *footer*. Jenis *font* yang digunakan ialah Arial dengan saiz 8-*point*. Tema warnanya adalah *White, Background 1, Darker 50%*.

**xi) Jadual**

Setiap jadual mestilah mengandungi nombor rujukan dan keterangan yang dicetak pada sebelah atas di bahagian tengah jadual tersebut dan ditulis sebagai Jadual No. Bil. Jadual: Keterangan.

**xii) Rajah**

Setiap rajah (termasuk peta) mestilah mengandungi nombor rujukan dan keterangan yang dicetak pada sebelah bawah di bahagian tengah rajah tersebut dan ditulis sebagai Rajah No. Bil. Rajah: Keterangan. Khas untuk peta, di dalamnya mesti dimasukkan logo Jabatan, rujukan peta, tarikh disediakan dan nama pegawai yang menyediakan selain daripada petunjuk, skala dan arah mata angin.

**xiii) Foto**

Setiap foto / gambar mestilah mengandungi nombor rujukan dan keterangan yang dicetak pada sebelah bawah di bahagian tengah foto tersebut dan ditulis sebagai Foto No. Bil. Foto: Keterangan.

**xiv) Keterangan (*Caption*)**

Keterangan bagi Rajah, Jadual dan Foto hendaklah menggunakan *font* Arial bersaiz 12-*point*. Panjang keterangan seelok-eloknya tidak melebihi 2 baris. (Contoh, Jadual 3: Taburan hujan di Pontian, Johor).

**xv) Ringkasan Eksekutif / *Executive Summary***

Ringkasan mesti tidak melebihi 300 perkataan atau satu muka surat A4, dan dicetak di bahagian hadapan laporan iaitu selepas halaman judul. Penulisan mesti disediakan dalam dua bahasa, iaitu bahasa Melayu dan Inggeris. Sekiranya laporan ditulis dalam bahasa Melayu, *Executive Summary* ditulis dalam bahasa Inggeris (*italic*). Sebaliknya, jika laporan ditulis dalam bahasa Inggeris, Ringkasan Eksekutif ditulis dalam bahasa Melayu (*italic*).

**xvi) Penghargaan**

Penghargaan merupakan satu kenyataan ringkas bagi menyampaikan ucapan terima kasih / penghargaan kepada agensi luar yang telah memberi sumbangan dan terlibat dalam menjayakan projek yang dilaporkan. Ia dicetak selepas tajuk Kesimpulan.

**xvii) Rujukan**

Senarai penerbitan yang dirujuk hendaklah mengikut Sistem Harvard. Setiap rujukan di dalam teks perlu dinyatakan nama pengarang, tahun penerbitan dan tajuk buku / laporan. Jika menggunakan maklumat dari laman web, nyatakan keseluruhan alamat URL serta tarikh laman web tersebut dirujuk.

**xviii) Bibliografi**

Meliputi bahan-bahan penerbitan yang berkaitan dengan projek tetapi tiada rujukan secara langsung dalam teks, juga boleh disenaraikan mengikut Sistem Harvard.

**xix) Lampiran**

Lampiran merupakan halaman bagi jadual, ilustrasi dan sebagainya yang tidak sesuai dimuatkan ke dalam teks kerana ia boleh mengganggu kesinambungan teks. Lampiran boleh dibahagikan kepada beberapa bahagian yang berasingan, iaitu Lampiran 1, Lampiran 2 dan sebagainya. Tiap-tiap lampiran beserta tajuknya hendaklah disenaraikan secara berasingan di dalam Senarai Kandungan.

**xx) Kulit Laporan**

Kulit laporan hendaklah menggunakan kertas kulit yang telah disediakan oleh Jabatan. Tajuk laporan yang ditulis pada kulit laporan hendaklah mengikut seperti mana yang ditetapkan *font Arial Bold* dengan saiz huruf *16-point* (contoh seperti di Lampiran 25 dan Lampiran 26).



**xxi) Nombor Laporan**

Nombor laporan hendaklah mengikut format berikut:

JMG.kod cawangan / negeri / bahagian (kod bidang) bil laporan / tahun

Contoh: Nombor Laporan JMG.SWP (REE) 01/2022

(laporan yang dikeluarkan oleh JMG Selangor / Wilayah Persekutuan)

**xxii) Format Belakang Kulit Laporan**

Halaman ini mengandungi pernyataan di mana laporan ini boleh diperoleh dan ia diletakkan pada sebelah belakang kulit laporan, iaitu alamat dan maklumat perhubungan JMG Ibu Pejabat serta JMG negeri di mana laporan dihasilkan.

**xxiii) Format Muka Dalam / Muka Surat Tajuk**

Format muka dalam atau surat tajuk mengandungi tajuk laporan berserta nama penulis laporan (seperti di Lampiran 27 dan Lampiran 28).

**xxiv) Unit SI**

Semua unit mesti diselaraskan mengikut *International System of Units* (SI).

**BIBLIOGRAFI**

- Academy of Science Malaysia, 2013. Revitalising the rare earth mineral programme in Peninsular Malaysia as a strategic industry. ASM Study Report 1/2013. pp.107.
- Aubert, D., Stille, P. & Probst, A., 2000. REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended loads: Sr and Nd isotopic evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65:387-406.
- Ayres, M. & Vance, D., 1997. A comparative study of diffusion profiles in Himalayan and Dalradian garnets: constraints on diffusion data and the relative duration of the metamorphic events. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 128:66-80.
- Ballaram, V., 2009. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers* 10:1285-1303.
- Banfield, J.F. & Eggleton, R.A., 1989. Apatite replacement and rare earth mobilization, fractionation, and fixation during weathering. *Clays and Clay Minerals* 37:113-127.
- Banfield, J.F. & Eggleton, R.A., 1990. Analytical transmission electron microscope studies of plagioclase, muscovite, and K-feldspar weathering. *Clays and Clay Minerals* 38:77-89.
- Bao, Z., & Zhao, Z., 2008. Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China. *Ore Geology Reviews* 33:519-535.
- Bea, F., Pereira, M.D. & Stroh, A., 1994. Mineral/leucosome trace-element partitioning in a peraluminous migmatite (a laser ablation-ICP-MS study). *Chemical Geology* 117:291-312.
- Blum, A.E. & Stillings, L.L., 1995. Chapter 7: Feldspar dissolution kinetics. Dlm. White, A.E. & Brantley, S.L. (Ed.) *Reviews in Mineralogy Vol. 31: Chemical weathering rates of silicate minerals*. Mineralogical Society of America.

- Bobos, I., Duplay, J., Rocha, J. & Gomes, C., 2001. Kaolinite to halloysite-7Å transformation in the kaolin deposit of São Vicente de Pereira, Portugal. *Clays and Clay Minerals* 49:596–607.
- Borst, A.M., Smith, M.P., Finch, A.A., Estrade, G., Villanova-de-Benavent, C., Nason, P., Marquis, E., Horsburgh, N.J., Goodenough, K.M., Xu, C., Kynický, J. & Geraki, K., 2020. Adsorption of rare earth elements in regolith-hosted clay deposits. *Nature Communications* 11:4386.
- Braun, J-J., Pagel, M., Muller, J-P., Bilong, P., Michard, A. & Guillet, B., 1990. Cerium anomalies in lateritic profiles. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54:781-795.
- Carr, R., Chaikum, N. & Patterson, N., 1978. Intercalation of salts in halloysite. *Clays and Clay Minerals* 26:144-152.
- Chakhmouradian, A.R. & Wall, F., 2012. Rare earth elements: Minerals, mines, magnets (and more). *Elements* 8:333-340.
- Chasse, M., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y. & Calas, G., 2017. Scandium speciation in a world-class lateritic deposit. *Geochem. Persp. Let. European Association of Geochemistry* 1711:105-114.
- Chi, R., Jun, T., Zhongjun, L., Cui, P., Yuanxin, W., Shirong, L., Cunwen, W. & Zhiang, Z., 2005. Existing state and partitioning of rare earth on weathered ores. *Journal of Rare Earths* 23:756.
- Compton, J.S., White, R.A., & Smith, M., 2003. Rare earth element behaviour in soil and salt pan sediments of a semi-arid granitic terrain in the Western Cape, South Africa. *Chemical Geology* 201:239-255.
- CRIRSCO, 2013. The PERC reporting standard 2013.
- Dambrine, E., Pollier, B., Poszwa, A., Ranger, J., Probst, A., Viville, D., Biron, P. & Granier, A., 1998. Evidence of current soil acidification in spruce strands in the Vosges Mountains, North-Eastern France. *Water, Air, and Soil Pollution* 105:43-52.

- Dill, H.G., Hansen, B.T. & Weber, B., 2011. REE contents, REE minerals and Sm/Nd isotopes of granite and unconformity related fluoride mineralization at the western edge of the Bohemian Massif: With special reference to the Nabburg-Wolsendorf District, SE Germany. *Ore Geology Reviews* 40:132-148.
- Dostal, J., 2017. Rare earth element deposits of alkaline igneous rocks. *Resources* 6:34.
- Fu, W., Luo, P., Hu, Z., Feng, Y., Liu, L., Yang, J., Feng, M., Yu, H. & Zhou, Y., 2019. Enrichment of ion-exchangeable rare earth elements by felsic volcanic rock weathering in South China: Genetic mechanism and formation preference. *Ore Geol. Reviews* 114:103-120.
- Grasso, V.B., 2013. Rare earth elements in national defense: Background, oversight issues, and options for congress. Congressional Research Service.
- Gysi, A.P. & Williams-Jones, A.E., 2013. Hydrothermal mobilization of pegmatite-hosted REE and Zr at Strange Lake, Canada: A reaction path model. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 122:324-352.
- Han, K.N., 2020. Characteristics of precipitation of rare earth elements with various precipitants. *Minerals* 10(20):178.
- Hart, R.D., Gilkes, R.J., Siradz, S. & Singh, B., 2002. The nature of soil kaolins from Indonesia and Western Australia. *Clays and Clay Minerals* 50:198-207.
- Imai, A., Sanematsu, K., Ishida, S., Watanabe, K., & Boosayasak, J., 2008. Rare earth elements in weathered crust in Sn-bearing granitic rocks in Southern Thailand. *Proceedings of the International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008), 4th IGCP 516, and 5th APSEG; November 24-26, 2008, Bangkok, Thailand, p.232-237.*
- Jordens, A., Cheng, Y.P. & Waters, E., 2013. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals. *Minerals Engineering* 41:97-114.
- Kanazawa, Y. & Kamitani, M., 2006. Rare earth minerals and resources in the world. *Journal of Alloys and Compounds* 408-412:1339-1343.

- Khadijeh, R.E.S., Elias, S.B., Wood, A.K. & Reza, A. M., 2009. Rare earth elements distribution in marine sediments of Malaysia coasts. *Journal of Rare Earths* 27:1066-1071.
- Kogarko, L.N., 1990. Ore-forming potential of alkaline magmas. *Lithos* 26:197-175.
- Laveuf, C. & Cornu, S., 2009. A review on the potentiality of rare earth elements to trace pedogenetic processes. *Geoderma* 154:1-12.
- Li, Y.H.M., Zhao, W.W. & Zhou, M.-F., 2017. Nature of parent rocks, mineralization styles and ore genesis of regolith-hosted REE deposits in South China: An integrated genetic model. *Journal of Asian Earth Sciences* 148:65-95.
- Li, M.Y.H. & Zhou, M-F., 2020. The role of clay minerals in formation of the regolith-hosted heavy rare earth element deposits. *American Mineralogist* 105:92-108.
- Li, M.Y.H., Zhou, M.-F. & Williams-Jones, A.E., 2019. The genesis of regolith hosted heavy rare earth element deposits: Insights from the world-class Zudong deposit in Jiangxi Province, South China. *Economic Geology* 114:541–568.
- Liu, Y., 2002. Soil erosion and conservation strategies of rare earth mining. *Water Resources Development Research (dlm. Cina)* 2:30-32.
- Ma, C. & Eggleton, R.A., 1999. Surface layer types of kaolinite: A high-resolution transmission electron microscope study. *Clays and Clay Minerals* 47:181-191.
- McLennan, S.M., & Taylor, S.R. (2012). *Geology, geochemistry and natural abundances of the rare earth elements*. Dlm. A.D. Atwood (Ed), *The rare earth elements: fundamentals and applications* (p.8). West Sussex, United Kingdom: Wiley.
- Mohd Rozi Umor & Hamzah Mohamad, 2002. Tren unsur-unsur nadir bumi (REE) Suit Stong, Jeli, Kelantan. *Bulletin of Geol. Soc. of Malaysia* 45:51-58.

- Mohd Rozi Umor & Syed Sheikh Almashoor, 2000. Tren unsur-unsur surih dan nadir bumi batuan kompleks Benta, Pahang berdasarkan kepada pertunjuk kepada proses pembentukan dan evolusi batuan. Proceeding Annual Geological Conference Geological Society of Malaysia. Penang, 87-95.
- Moldoveanu, G. & V. Papangelakis, V., 2013. Recovery of rare earth elements absorbed on clay minerals: II. Leaching with ammonium sulphate. *Hydrometallurgy* 131-132:158-166.
- Nawab, A., Yang, X. & Honaker, R., 2022. Parametric study and speciation analysis of rare earth precipitation using oxalic acid in a chloride solution system. *Minerals Engineering* 176:107352.
- Palmer, M.A., Bernhardt, E.S., Schlesinger, W.H., Eshleman, K.N., Fofoula-Georgiou, E., Hendryx, M.S., Lemly, A.D., Likens, G.E., Loucks, O.L., Power, M.E., White, P.S. & Wilcock, P.R., 2010. Mountaintop mining consequences. *Science* 327:148-149.
- Papoulis, D., Tsohis-Katagas, P. & Katagas, C., 2004a. Progressive stages in the formation of kaolin minerals of different morphologies in the weathering of plagioclase. *Clays and Clay Minerals* 52:275-286.
- Papoulis, D., Tsohis-Katagas, P. & Katagas, C., 2004b. Monazite alteration mechanisms and depletion measurements in kaolins. *Applied Clay Science* 24-271-285.
- Probst, A., Gh'mari, A.E., Aubert, D., Fritz, B. & McNutt, R., 2000. Strontium as a tracer of weathering processes in a silicate catchment polluted by acid atmospheric inputs, Strengbach, France. *Chemical Geology* 170:203-219.
- Ray, J.S. & Shukla, P.N., 2004. Trace element geochemistry of Amba Dongar carbonatite complex, India: evidence for fractional crystallization and silicate-carbonate melt immiscibility. *Journal of Earth System Science* 113:519-531.
- Sanematsu, K., Ejima, T., Kon, Y., Manaka, T., Zaw, K., Morita, S. & Seo, Y., 2016. Fractionation of rare-earth elements during magmatic differentiation and weathering of calc-alkaline granites in southern Myanmar. *Mineralogical Magazine*.

- Sanematsu, K., & Kon, Y., 2013. Geochemical characteristics determined by multiple extraction from ion-adsorption type REE ores in Dingnan county of Jiangxi Province, South China. *Bulletin of the Geological Survey of Japan* 64:313-330.
- Sanematsu, K., Kon, Y., Imai, A., Watanabe, K. & Watanabe, Y., 2013. Geochemical and mineralogical characteristics of ion-adsorption type REE mineralization in Phuket, Thailand. *Mineralium Deposita* 48:437-451.
- Sanematsu, K. & Watanabe, Y., 2016 Characteristics and genesis of ion-adsorption type deposits. Dlm. Verplanck, P.L. & Hitzman, M.W. (Ed), Rare earth and critical elements in ore deposits. Volume 18, SEG.
- Scaillet, B., Pichavant, M. & Roux, J., 1995. Experimental crystallization of leucogranite magmas. *Journal of Petrology* 36:663-705.
- Sheard, E.R., Williams-Jones, A.E., Heiligmann, M., Pederson, C. & Trueman, D.L., 2012. Controls on the concentration of zirconium, niobium, and the rare earth elements in the Thor Lake Rare Metal Deposit, Northwest Territories, Canada. *Economic Geology* 107:81-104.
- Singh, B. & Gilkes, R.J., 1992. Properties of soil kaolinites from south-western Australia. *Journal of Soil Science* 43:645-667.
- Stille, P., Gautier-Lafaye, F. & Louvat, D., 1999. REE migration in groundwaters close to the natural fission reactor of Bagombe (Gabon); Sm-Nd isotope evidence. Dlm. Proceedings of the Oklo Phase II Workshop, Brussels. EUR Report Series n° 19137:263-272.
- Su, W., 2009. Economic and policy analysis of China's rare earth industry (dlm Cina). China Financial and Economic Publishing House, Beijing.
- Sun, S-S. & McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications.
- Teitler, Y., Cathelineau, M., Ulrich, M., Ambrosi, J.P., Munoz, M. & Sevin, B., 2019. Petrology and geochemistry of scandium in New Caledonian Ni-Co laterites. *Journal of Geochemical Exploration* 196:131-155.

- Velde, B., 1985. Clay minerals: A physico-chemical explanation of their occurrence. Vol. 41 of developments on sedimentology. Elsevier.
- Verplanck, P.L., 2017. The role of fluids in the formation of rare earth deposits. *Procedia Earth and Planetary Science* 17:758-761.
- Voßenkaul, D., Stoltz, N.B., Meyer, F.M. & Friedrich, B., 2015. Extraction of rare earth elements from non-Chinese ion adsorption clays. Conference: European Metallurgical Conference – At: Düsseldorf.
- Wada, K., 1959a. An interlayer complex of halloysite with ammonium chloride. *American Mineralogist* 44:1237-1247.
- Wada, K., 1959b. Oriented penetration of ionic compounds between the silicate layers of halloysite. *American Mineralogist* 44:153-165.
- Wan Fuad Wan Hassan & Mohd Suhaimi Hamzah, 1998. Rare earth element patterns in some granitic rocks of peninsular Malaysia. GEOSEA '98 - Ninth Regional Congress on Geology, Mineral and Energy Resources of Southeast Asia, Kuala Lumpur August, Abstract: 196-197.
- Wan Fuad Wan Hassan, Azman A. Ghani & Syafrina Ismail, 2001. Rare-earth modelling of the Langkawi Granites. *Sains Malaysiana* 30:13-26.
- Wang, W. & Cheng, C.Y., 2011. Separation and purification of scandium by solvent extraction and related technologies: a review. *J Chem Technol Biotechnol* 86:1237–1246.
- Wang, Q., Deng, J., Liu, X., Zhang, Q., Sun, S., Jiang, C. & Zhou, F., 2010. Discovery of the REE minerals and its geological significance in the Quyang bauxite deposit, West Guangxi, China. *Journal of Asian Earth Sciences* 39: 701-712.
- Wang, X., Lei, Y., Ge, J. & Wu, S., 2015. Production forecast of China's rare earth based on the Generalized Weng model and policy recommendations. *Resource Policy* 43:11-18.



- Wang, D., Zhao, Z., Yu, Y., Dai, J., Deng, M., Zhao, T. & Liu, L., 2018. Exploration and research progress on ion-adsorption type REE deposit in South China. *China Geology* 3:415-424.
- White, A.F., Bullen, T.D., Schulz, M.S., Blum, A.E., Huntington, T.G. & Peters, N.E., 2001. Differential rates of feldspar weathering in granitic regoliths. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65:847-869.
- Wu, C.Y., Huang, D.H. & Gou, Z.X., 1990. REE geochemistry in the weathered crust of granites, Longnan Area, Jiangxi province. *Acta Geologica Sinica* 3:193-210.
- Xiao, Y., Feng, Z., Huang, X., Huang, L., Chen, Y., Wang, L. & Long, Z., 2015. Recovery of rare earths from weathered crust elution-deposited rare earth ore without ammonia-nitrogen pollution: I. Leaching with magnesium sulfate. *Hydrometallurgy* 153:58-65.
- Xu, C., Kynický, J., Smith, M.P., Kopriva, A., Brtnický, M., Urubek, T., Yang, Y., Zhao, Z., He, C. & Song, W., 2017. Origin of heavy rare earth mineralization in South China. *Nature Communications* 8:14598.
- Yang, X.J., Lin, A., Li, X-L., Wu, Y, Zhou, W. & Chen, Z., 2013. China's ion-adsorption rare earth resources, mining consequences and preservation. *Environmental Development* 8:131-136.
- Yasukawa, K., Ohta, J., Mimura, K., Tanaka, E. Machida, S., Nozaki, T., Iijima, K., Nakamura, K. & Kato, Y., 2018. A new and prospective resource of scandium: Evidence from the geochemistry of deep-sea sediment in the western North Pacific Ocean. *Ore Geol. Reviews* 102:260-267.
- Yusoff, Z.M., Ngwenya, B.T. & Parsons, I., 2013. Mobility and fractionation of REE during deep weathering of geochemically contrasting granites in a tropical setting, Malaysia. *Chemical Geology* 349-350:71-86.

## DAFTAR ISTILAH

**Affinity** – electronic property by which dissimilar chemical species are capable of forming chemical compounds.

**Alkali Granite** – or alkali feldspar granite, a felsic igneous rock, and a type of granite rich in the mineral potassium feldspar (K-spar).

**Anatexis** – partial melting of crustal rocks that occurs at P-T fields between the solidus and liquidus.

**Beneficiation** – any process that improves (benefits) the economic value of the ore by removing the gangue minerals, which results in a higher-grade product (ore concentrate) and a waste stream (tailings).

**Colloid** – a two phase system consisting of a continuous phase (the dispersion medium) and dispersed phase (the particles or emulsion droplets). The particle size of the dispersed phase typically ranges from 1 nanometer to 1 micrometer.

**Dissolution** – the process in which solids (like minerals) are disassociated and the ionic components are dispersed in a liquid (usually water).

**Halloysite** – a hydrated phase of kaolinite with formula of  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ . It has a tubular crystal structure, which is markedly different from the booklet or platelet crystal structure of kaolinite.

**Ion adsorption clay** – the result of weathering of rare-earth rich host rocks which lead over geological times to the formation of clays.

**Leucogranite** – light-colored, granitic, igneous rock containing almost no dark minerals.

**Lixiviant** – a chemical used in hydrometallurgy to extract elements from its ore.

**Metamictization** – the process of disruption of the structure of a crystal by radiations from contained radioactive atoms, rendering the material partly or wholly amorphous.

**Metasomatism** - a geological process that involves the alteration of a rock's chemical composition through the introduction or removal of chemical components by fluids through a variety of mechanisms, including hydrothermal activity, weathering, and metamorphism.

**Mischmetal** - an alloy composed of various rare earth metals, including cerium, lanthanum, neodymium, praseodymium, and others.

**Nacrite** -  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$  is a clay mineral that is polymorphous (or polytypic) with kaolinite. It crystallizes in the monoclinic system and most occurrences are associated with hydrothermal or pneumatolytic processes.

**Peralkaline Granite** – granite which has a deficiency of aluminium such that sodium and potassium are in excess of that needed for feldspar.  $\text{Al}_2\text{O}_3 < (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  or  $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}) \ll 1.0$ ; rock will probably have lot of K-feldspar in the norm, probably a feldspathoid or very little, if any quartz.

**Redox Process** – a chemical reduction-oxidation reaction that involves a transfer of electrons between two species, or any chemical reaction in which the oxidation number of a molecule, atom, or ion change by gaining or losing an electron.

**PENGHARGAAN**

Jabatan merakamkan penghargaan kepada Pengarah Cawangan Penyelarasan dan Pelaksanaan Operasi yang telah mengambil inisiatif untuk menerbitkan garis panduan ini dan pegawai-pegawai berikut yang telah memberi sumbangan:

Yusari Basiran

Abdul Hadi Abdul Rahman

Mohd Shari Ismail

Hamdan bin Ariffin

Dr. Sia Say Gee

Mahat Hj. Sibon

John Joseph Jinap

Khairul Nazri Hj. Yaakub

Ahmad Izzat Zolkefli

Fakhruddin Afif Fauzi

**PENYUNTING**

Ummi Daiemah Hussin

Norshakira Ab. Ghani

LAMPIRAN 1

KEDUDUKAN REE DALAM JADUAL BERKALA UNSUR



## LAMPIRAN 2

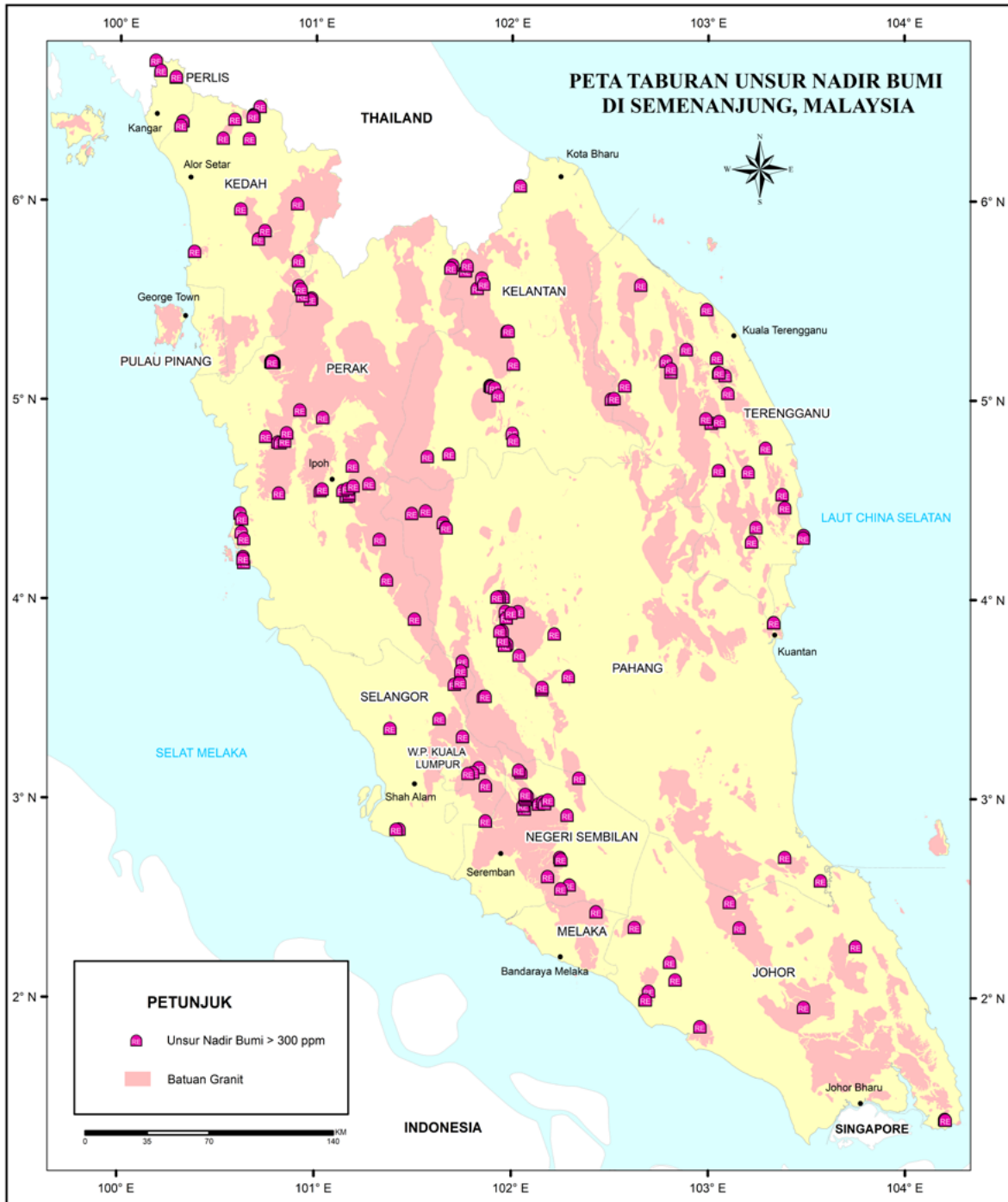
## PENGELASAN REE KEPADA LREE DAN HREE

Kumpulan	Unsur	Simbol	Nombor Atom	Berat Atom
LREE	Lantanum	La	57	138.91
	Serium	Ce	58	140.12
	Praseodimium	Pr	59	140.91
	Neodimium	Nd	60	144.24
	Prometium*	Pm*	61	145.00
	Samarium	Sm	62	150.36
	Europium	Eu	63	151.96
	Skandium	Sc	21	44.96
HREE	Gadolinium	Gd	64	157.25
	Terbium	Tb	65	158.92
	Disprosium	Dy	66	162.50
	Holmium	Ho	67	164.93
	Erbium	Er	68	167.26
	Tulium	Tm	69	168.93
	Iterbium	Yb	70	173.04
	Lutetium	Lu	71	174.97
	Ytrium	Y	39	88.91

\*Tidak wujud secara semula jadi sebagai isotop yang stabil, tetapi dihasilkan dalam makmal

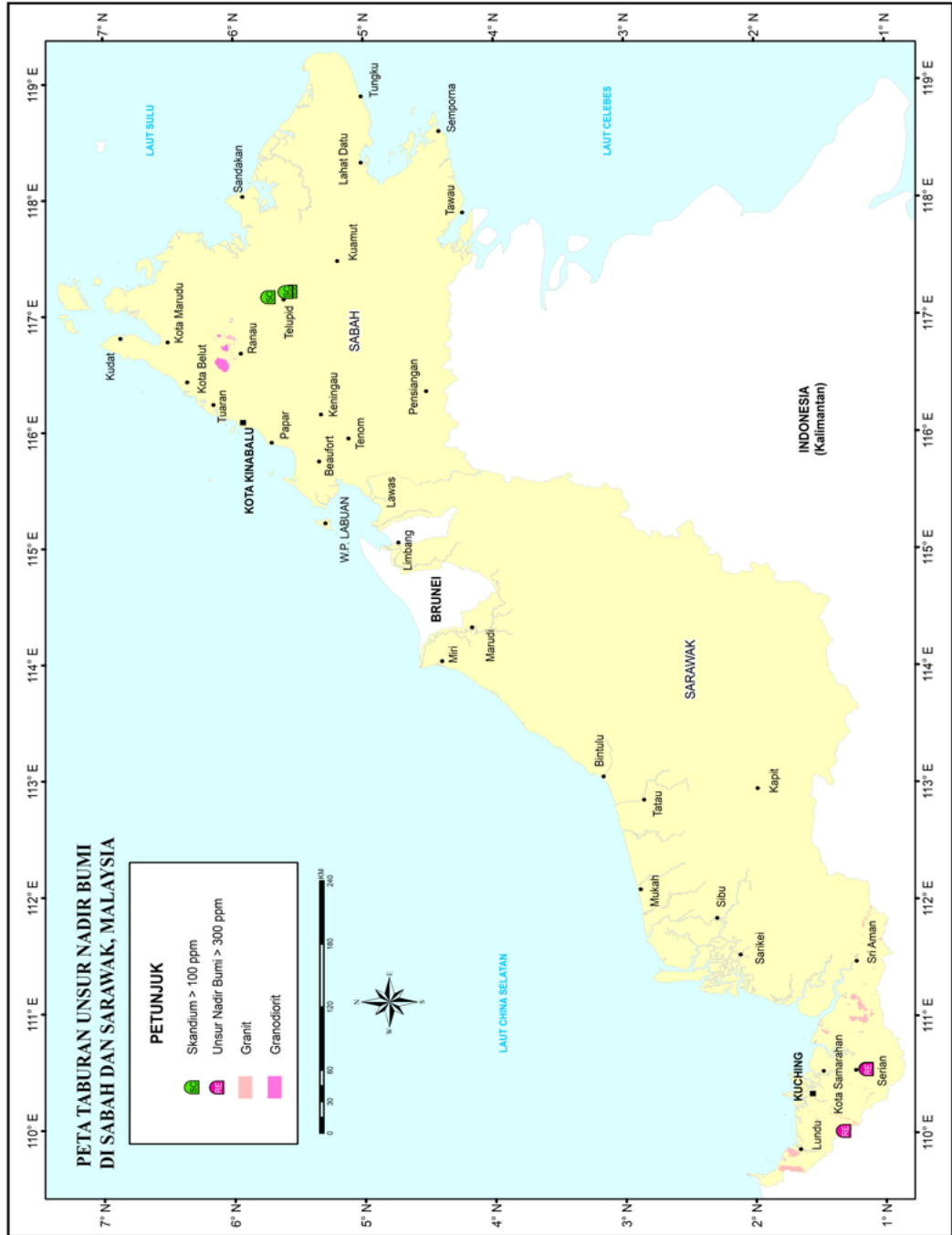
LAMPIRAN 3

PETA TABURAN REE DI SEMENANJUNG MALAYSIA



LAMPIRAN 4

PETA TABURAN REE DI SABAH DAN SARAWAK





## LAMPIRAN 5

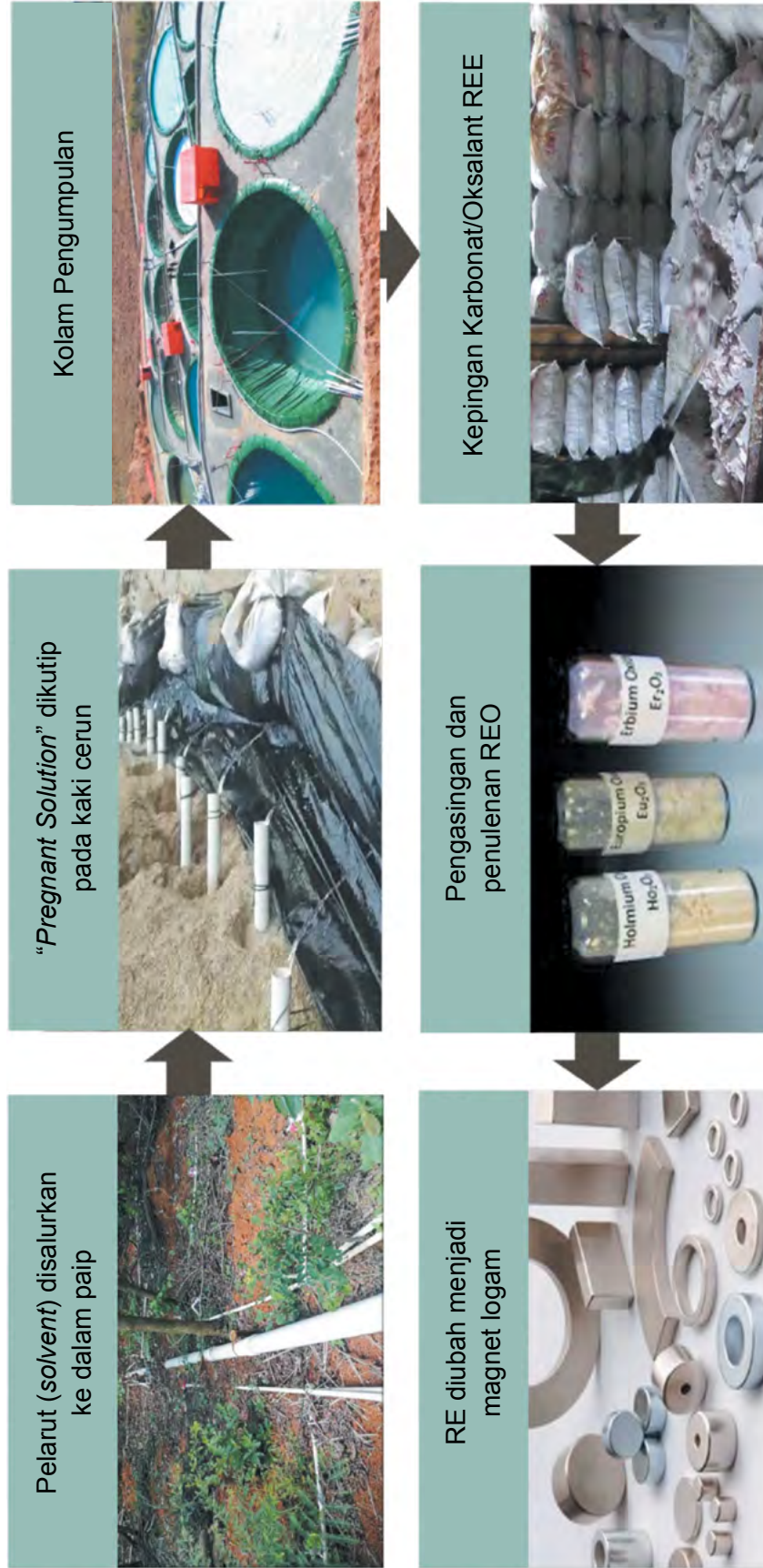
## JENIS MINERAL RE DAN PURATA PERATUSANNYA

Mineral	Formula*	%TREO
<b>Oxides</b>		
Aeschnite	$(Y,Ca,Fe)(Ti,Nb)_2(O,OH)_6$	25
Euxenite	$(Y,Ca,Ce)(Nb,Ta,Ti)_2O_6$	24
Fergusonite	$YNbO_4$	46
Loparite	$(Ce,Na,Ca)_2(Ti,Nb)_2O_6$	30
Samarskite	$(Y,Fe^{3+},U)(Nb,Ta)_5O_4$	24
<b>Carbonates</b>		
Ancylite	$SrCe(CO_3)_2(OH)\cdot(H_2O)$	43
Bastnasite	$Ce(CO_3)F$	75
Parisite	$Ca(Ce,La)_2(CO_3)_3F_2$	61
Synchysite	$CaCe(CO_3)_2F$	51
Tengerite	$Y_2(CO_3)_3\cdot 2-3(H_2O)$	56
<b>Phosphates</b>		
Britholite	$(Ce,Ca,Th,La,Nd)_5(SiO_4,PO_4)_3(OH,F)$	32
Florencite	$CeAl_3(PO_4)_2(OH)_6$	32
Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$	20
Monazite	$(Ce,La,NdTh)PO_4$	65
Xenotime	$YPO_4$	61
<b>Silicates</b>		
Allanite	$(Ce,Ca,Y)(Al,Fe^{3+})(SiO_4)_3(OH)$	38
Gadolinite	$Y_2Fe^{2+}Be_2Si_2O_{10}$	48
Kainosite	$Ca_2(Y,Ce)_2Si_4O_{12}(CO_3)\cdot(H_2O)$	38
Eudialyte	$Na_4(Ca,Ce)_2(Fe^{2+},Mn,Y)ZrSi_8O_{22}(OH,Cl)$	10
Thalenite	$Y_3Si_3O_{10}(OH)$	64

Sumber: webmineral.com, diambil pada 15 Ogos 2012

LAMPIRAN 6

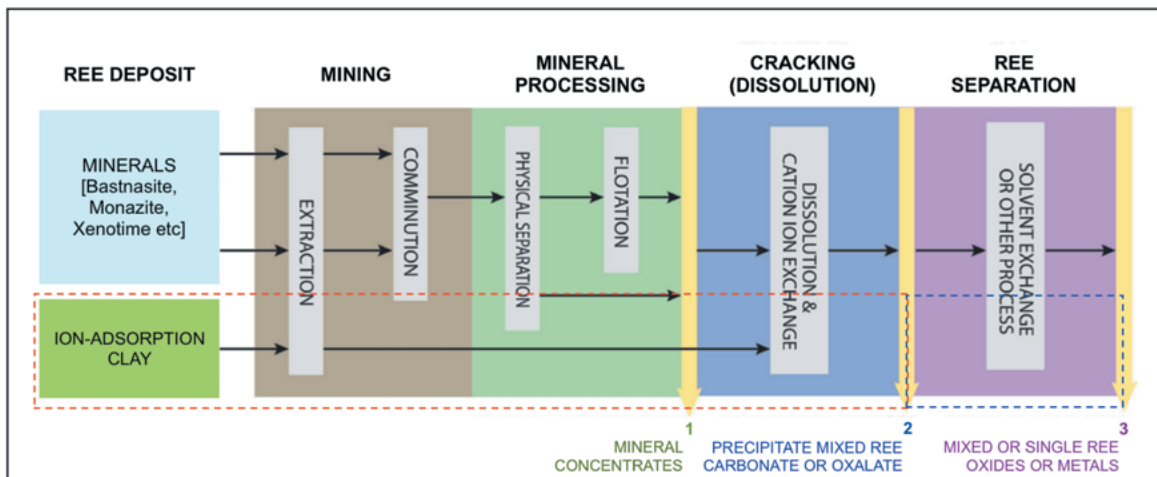
PROSES PENGUSAHAHASILAN REE DARIPADA LEMPUNG JERAPAN ION SEHINGGA PRODUK



LAMPIRAN 7

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI DAN PERBANDINGAN KAEDAH PENGKESKTRAKAN REE DARIPADA MINERAL DAN LEMPUNG JERAPAN ION

Mineral	Process	REE Yield (%)	Remarks	Status
Bastnaesite	1) HCl leach to remove non REE carbonate 2) Calcination of residue to form REO	85-90	The oldest way to process bastnaesite concentrates	Outdated
	Digestion with HNO <sub>3</sub> or H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98	Acid choice depends on further processing: • solvent extraction → HNO <sub>3</sub> • precipitation → H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Outdated
	1) Roast at 620°C to drive CO <sub>2</sub> 2) 30% HCl leach	-	• Ce <sup>3+</sup> oxidises to Ce <sup>4+</sup> during roasting → will not leach • REE fluorides will not leach • Residue is marketable	Outdated
	1) Alkaline conversion RE <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> → RE(OH) <sub>3</sub> 2) HCl leach	-	Process can be preceded with HCl leach to extract REE carbonates before alkaline conversion	In use
	1) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> roast 2) NaCl solution leach 3) Precipitation as Na double sulphates	-	Precipitates are converted to chlorides to further purification with solvent extraction	In use
Monazite	Digestion in hot H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	• Process conditions determine what is leached; either LREE or LREE+HREE+Th • Yields no pure product	Outdated
	1) Digestion in hot 60-70% NaOH 2) Washing residue with hot water 3) Leach with mineral acid of choice	98	• Ce cannot be leached if Mn is present • Th is leached together with REE • Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> is marketable by-product	In use
	1) Heat under reducing and sulphidizing atmosphere with CaCl <sub>2</sub> and CaCO <sub>3</sub> 2) Leach with 3% HCl	89	• Requires no fine grinding • Th does not leach, remains in residue as ThO <sub>2</sub> • No Mn problem	In use
Ion adsorption clay (IAC)	Salt leach with (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	80-90	Targets physisorbed REE through cation exchange	In use
	Leach with seawater	40	Inefficient but cheap process	R&D
	Acid leach with strong acid (pH<1)	ALL	• Dissolves entire clay • incurs significant additional costs	Not used



## LAMPIRAN 8

## CONTOH REKOD CERAPAN LAPANGAN

Bil	No Sampel	Timuran	Utaraan	Syit Topo	Nama Syit	Elevasi (m)	Lokasi	Litologi	Jenis Sampel	Warna	Jarak dari Permukaan (m)	Pecahan Saiz Butiran / Mineral (%)	Lain-lain
1	REE1111A							Horizon A	Tanah	Perang	1	Lempung 60% Kuarza 20% Organik 20%	-
2	REE1111B							Horizon B		Merah	2	Lempung 80% Kuarza 20%	Kuarza kelabu, butir halus, bersegi
3	REE1111C	566716	522598	4263	Kuala Jengai	150	Kg. Kuala Jengai	Horizon C		Kuning Kelabu Putih	3	Lempung 60% Kuarza 20% Biotit 10% Feldspar 10%	Kuarza kelabu, butir halus, bersegi
4	REE1111D							Granit	Batuan	-	4	Kuarza 40% Biotit 30% K-feldspar 40%	Megakristik

**LAMPIRAN 9**

**CONTOH LOG PENSAMPELAN LUBANG DALAM**

DEPT. OF MINERAL AND GEOSCIENCE MALAYSIA, SARAWAK		LOG RECORDS		Sheet <u>  1  </u> Of <u>  1  </u>		
PROJECT: REE RIIH SERIAN		NO : P16/L2		MAP SHEET : _____		
TYPE OF LOG : Gangnan Auger Drill		LOCATION : Riih, Serian		DATE STARTED : 13.04.2021		
LOGGED BY : Pegawai 1		CO- ORDINATE : N 098900 E 125800		DATE COMPLETED : 13.04.2021		
				DEPTH : <u>  6.01  </u> metres		
Depth (m)	Thickness (m)	Graphic Log	Soil / Sediment types : colour , grain size , mineral texture , etc Structure : Bedding < etc.	Sample No	Horizon	Remarks
0.34	0.49		Topsoil- Dark brown clayey soil.			
1	0.87		Orange clayey soil		Horizon B	Foto 1 1
1.36	1.43		Orange clayey soil + rock chips (white), hard rock chips (quartz) + weathered and oxidised sapprolite			Foto 2 - Foto 3
2.79	1.36		Dark yellow clayey soil + white hard rock chips (size 1-2 mm) + weathered feldspar			Foto 4 - Foto 6
4	0.33		Reddish friable, silty clay soil also reddish weathered rock fragments (size 1 - 2 cm)	Sample p16/L2	Horizon C	
4.48	0.44		Dark brown; Friable silty clay clayey soil - with white weathered rock chips size 1-3 mm			Foto 7 5
4.92	0.99		Friable deep brown color, highly weathered rock + dark (black mineral) + white weathered rock chips, medium porosity.			
6.01			Weathered grey color rock chips. Hard/solid : Andesite (Serian Volcanics)? Bedrock			(Kamera Pegawai 1)
7						

## LAMPIRAN 10

**PERBANDINGAN KEPUTUSAN UJIAN XRF DAN ANALISIS LA-ICP-MS BAGI SAMPEL-SAMPEL  
MENGUNAKAN SAIZ PENGAYAK YANG BERBEZA**

A) Lokasi pensampelan: Jelebu, Negeri Sembilan

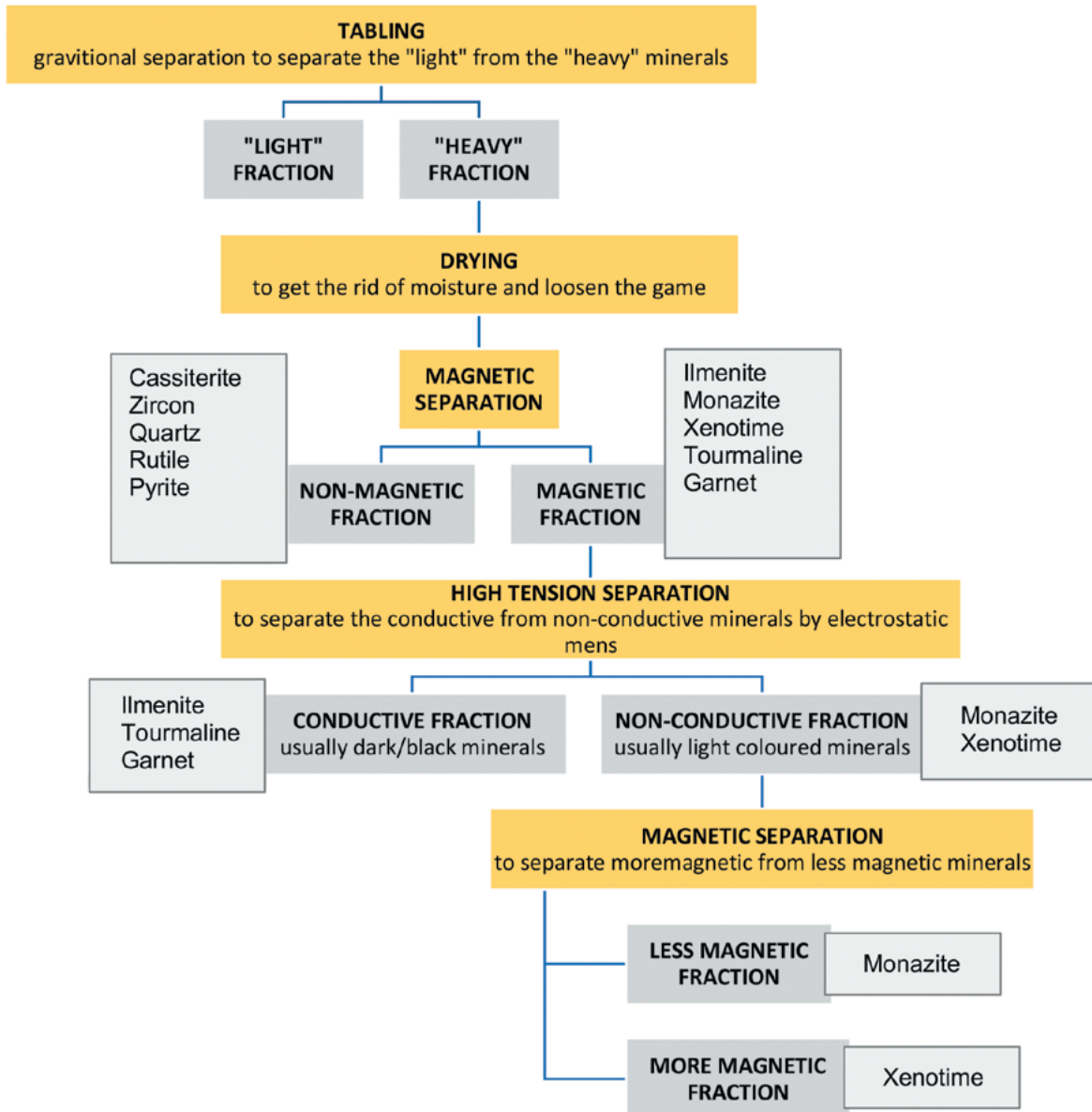
No. Sampel	Saiz Pengayak ( $\mu\text{m}$ )	$\text{SiO}_2$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{TiO}_2$ (%)	$\text{Na}_2\text{O}$ (%)	$\text{K}_2\text{O}$ (%)	$\text{CaO}$ (%)	$\text{MgO}$ (%)	$\text{MnO}$ (%)	$\text{P}_2\text{O}_5$ (%)	LOI (%)	Th (ppm)	U (ppm)	THREE (ppm)	TLREE (ppm)	TREE (ppm)
NSP/22(75)	75	46.4	31.9	4.64	0.58	0.01	0.54	0.01	0.11	0.01	0.05	15.2	78.3	18.0	85.98	225.80	311.78
NSP/22	355	54.7	25.9	4.05	0.64	0.01	0.47	0.01	0.09	0.02	0.04	13.4	70.5	15.8	41.30	232.80	274.10

B) Lokasi pensampelan: Hutan Simpan Ulu Muda, Sik, Kedah

No. Sampel	Saiz Pengayak ( $\mu\text{m}$ )	$\text{SiO}_2$ (%)	$\text{Al}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	$\text{TiO}_2$ (%)	$\text{Na}_2\text{O}$ (%)	$\text{K}_2\text{O}$ (%)	$\text{CaO}$ (%)	$\text{MgO}$ (%)	$\text{MnO}$ (%)	$\text{P}_2\text{O}_5$ (%)	LOI (%)	Th (ppm)	U (ppm)	THREE (ppm)	TLREE (ppm)	TREE (ppm)
KS3015B1	75	47.1	30.5	4.51	0.65	0.07	2.35	0.01	0.31	0.01	0.05	13.4	145	18.0	53.81	618.85	672.66
KS3015B2	400	51.5	28.3	4.30	0.55	0.06	2.05	0.01	0.31	0.01	0.04	12.2	121	15.0	41.91	499.59	541.50

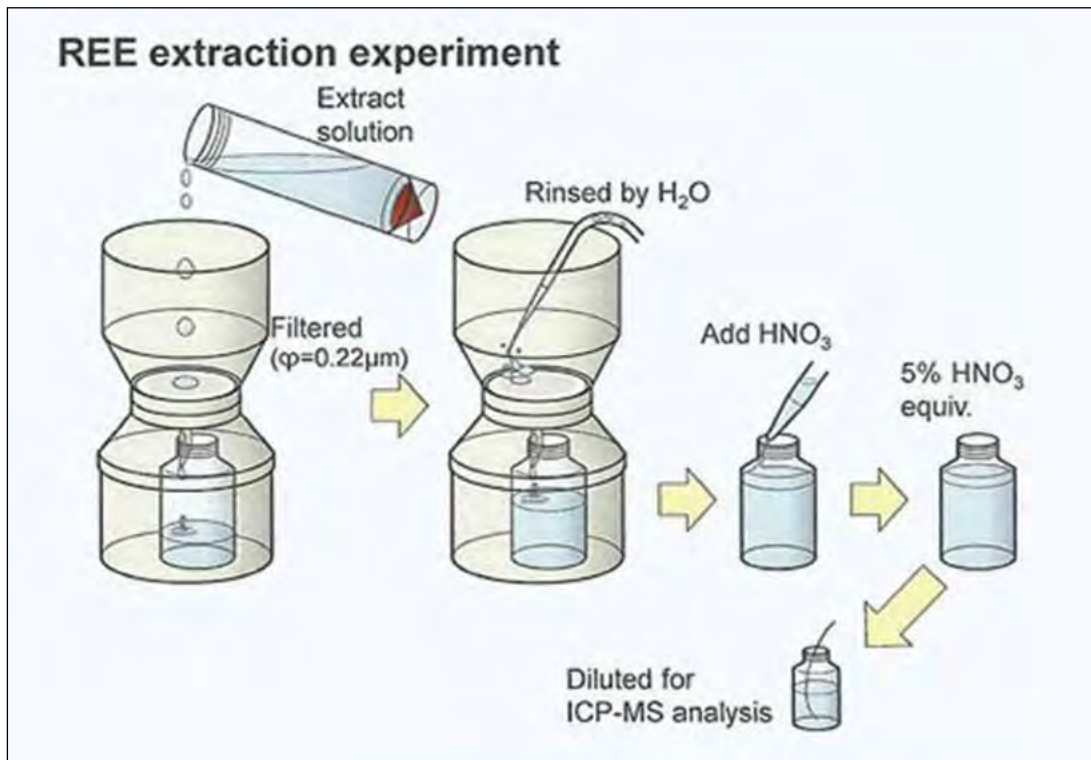
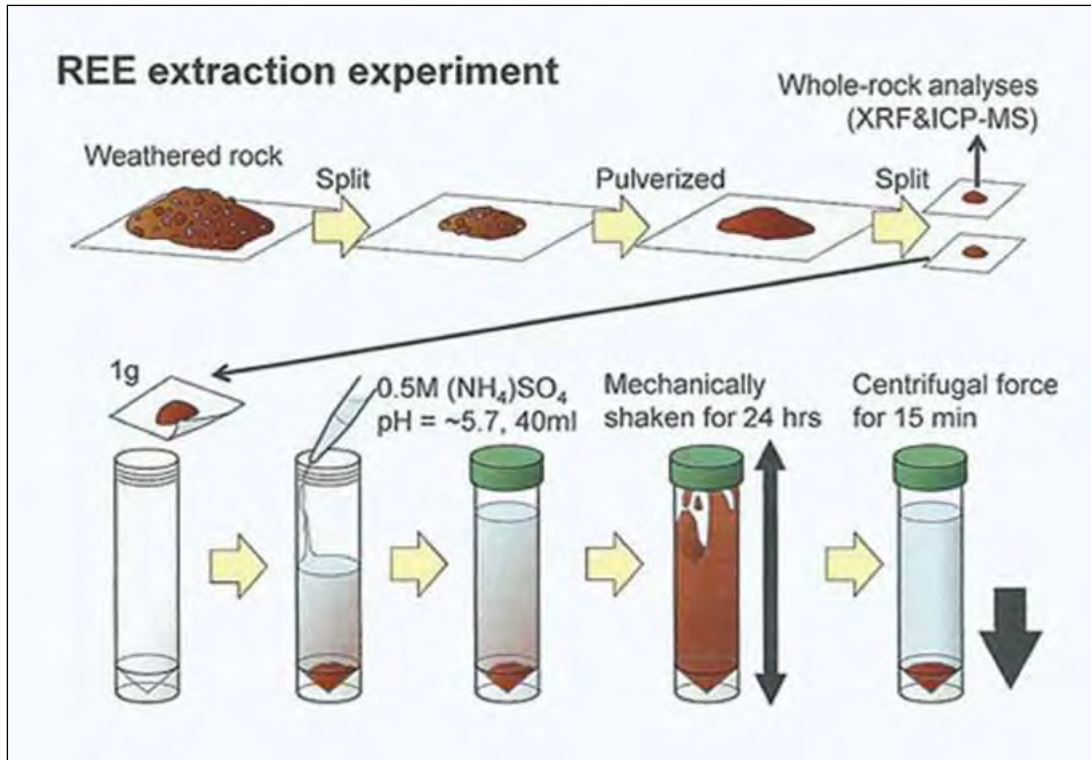
LAMPIRAN 11

PROSES PENGEKSTRAKAN MINERAL RE DARIPADA SAMPEL KONSENTRAT



LAMPIRAN 12

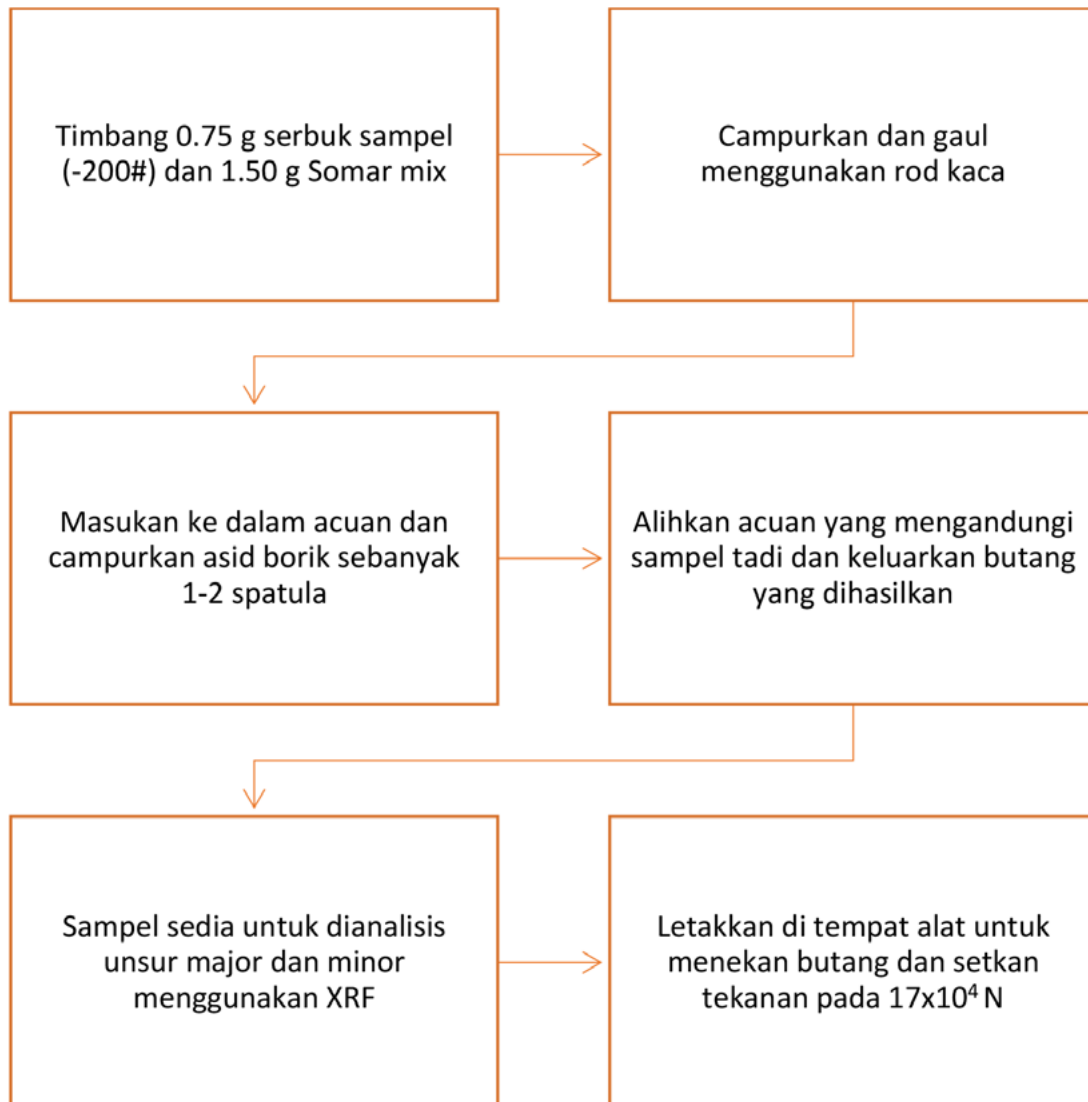
PROSES PENGEKSTRAKAN REE DARI BATUAN LULUHAWA





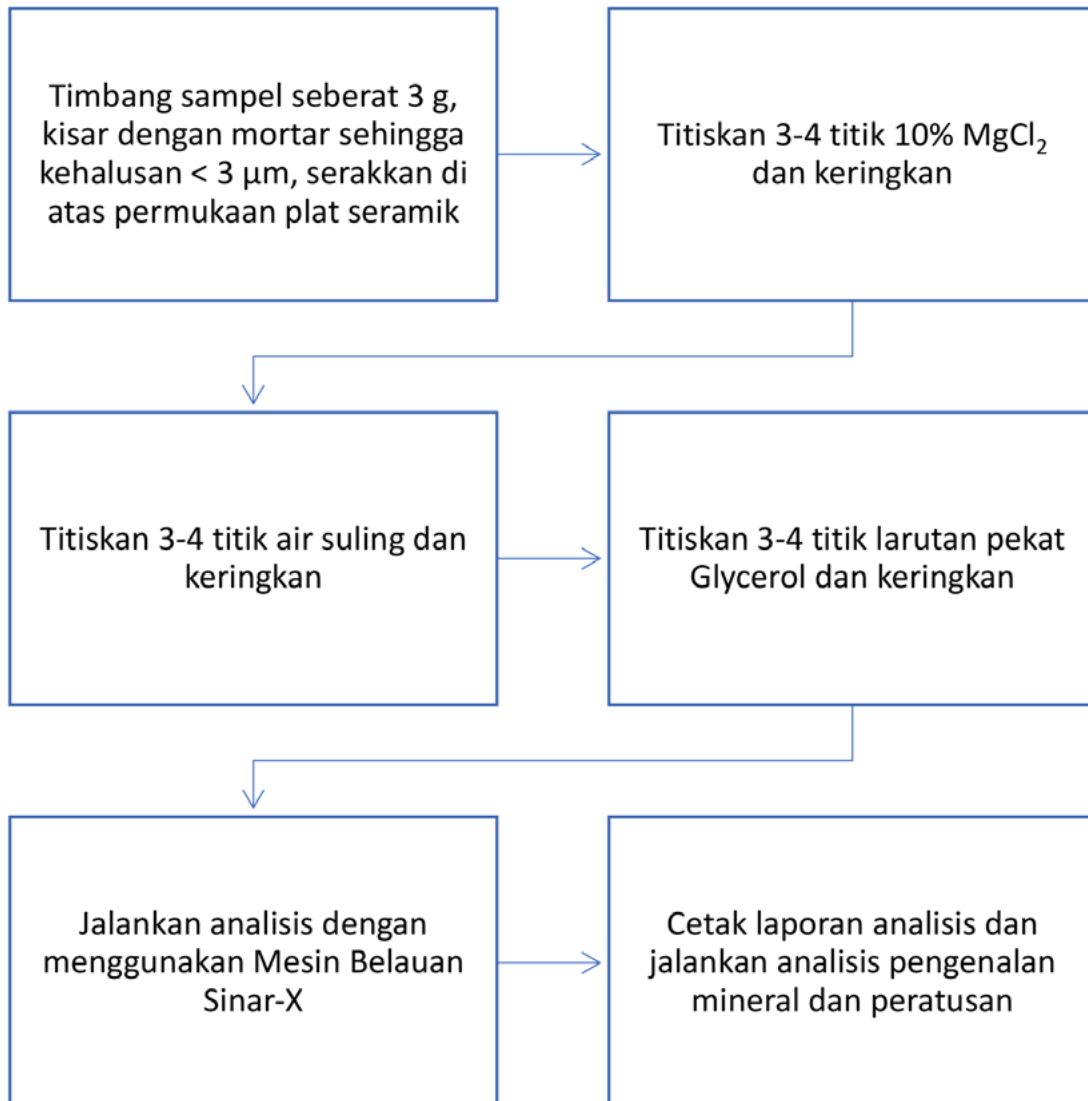
## LAMPIRAN 13

## CARTA ALIR UJIAN XRF



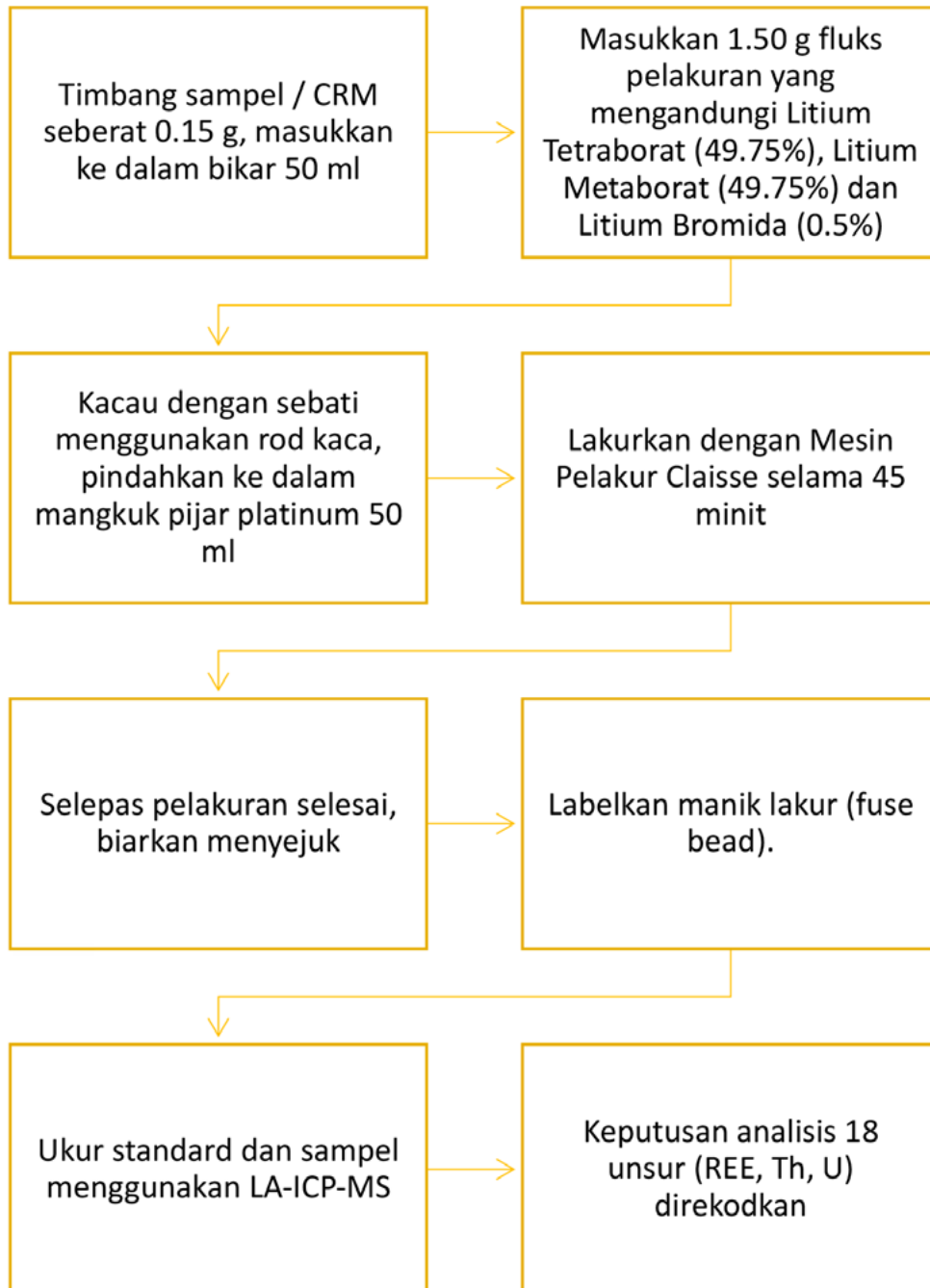
## LAMPIRAN 14

## CARTA ALIR UJIAN XRD



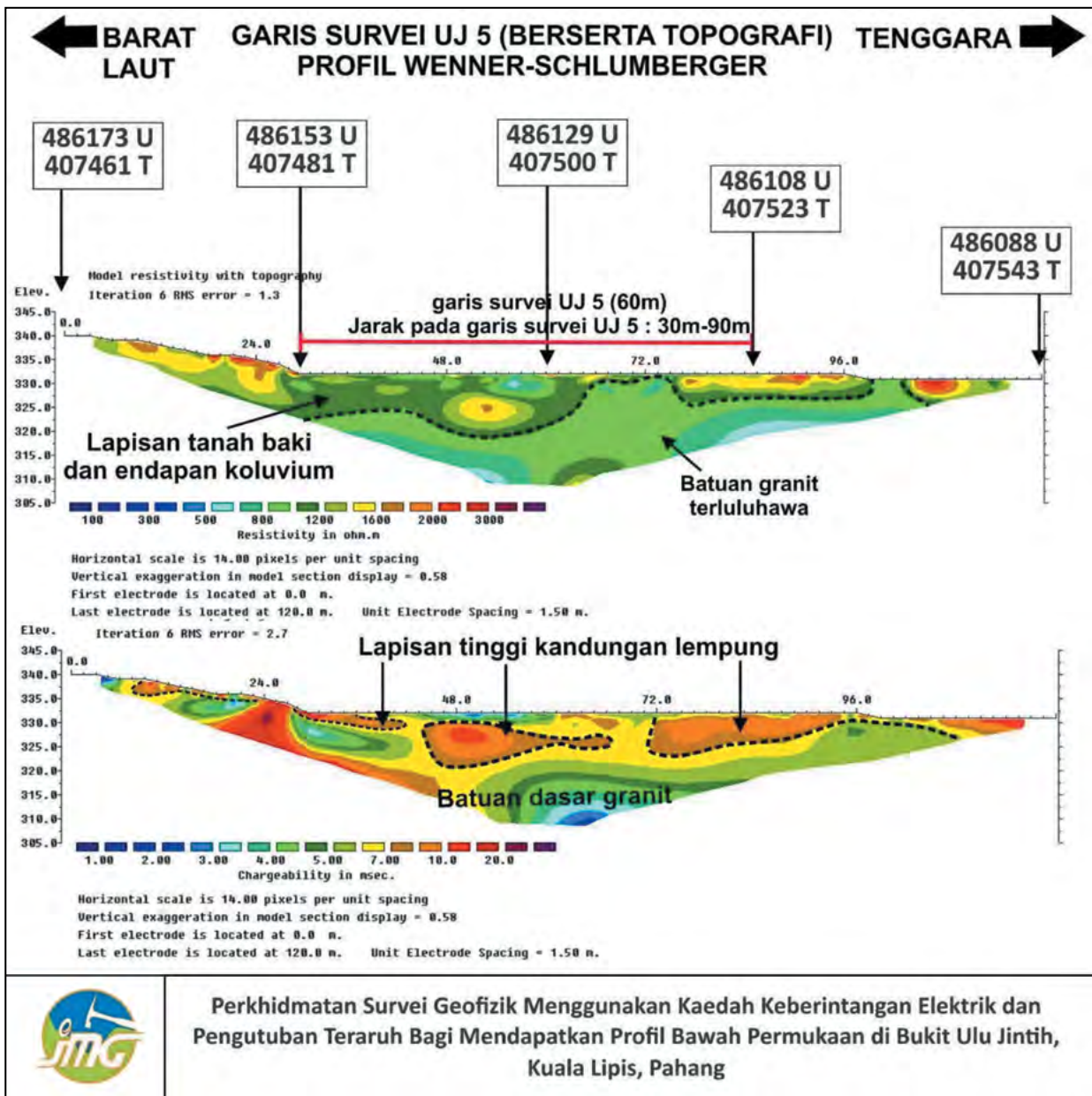
**LAMPIRAN 15**

**CARTA ALIR ANALISIS LA-ICP-MS**



LAMPIRAN 16

CONTOH KEPUTUSAN SURVEI GEOFIZIK MENGGUNAKAN KAEDAH  
KEBERINTANGAN (RESISTIVITY) DAN PENGUTUBAN TERARUH (IP)



## LAMPIRAN 17

## CONTOH KEPUTUSAN UJIAN XRF BAGI SAMPEL TANIH DAN BATUAN

## A. Keputusan ujian XRF bagi sampel tanah (Kg. Rasau, Kerteh, Terengganu)

BIL	NO SAMPEL	JENIS SAMPEL	PARAMETER													JUMLAH
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI			
1	KNS0094B	Tanah	53.0	25.2	4.54	0.47	1.90	1.03	0.01	0.17	0.01	0.03	14.1	100.46		
2	KNS0095B	Tanah	53.5	22.0	4.99	0.34	1.58	2.80	0.01	0.18	0.01	0.03	14.7	100.14		
3	KNS0096B	Tanah	48.6	24.4	5.18	0.34	1.22	1.05	0.02	0.11	0.01	0.02	18.7	99.65		
4	KNS0096C	Tanah	53.4	23.6	4.84	0.36	2.06	1.55	0.01	0.11	0.01	0.02	14.7	100.66		
5	KNS0097B	Tanah	46.0	27.4	6.32	0.55	1.12	1.97	0.02	0.22	0.05	0.02	15.4	99.07		
6	KNS0098B	Tanah	47.4	24.6	7.72	0.96	1.09	1.31	0.02	0.23	0.05	0.04	15.9	99.32		
7	KNS0099B	Tanah	51.0	24.9	5.68	0.56	1.53	0.56	0.01	0.13	0.02	0.03	14.8	99.22		

## B. Keputusan ujian XRF bagi sampel batuan (Bukit Enggang, Sik, Kedah)

BIL	NO SAMPEL	JENIS SAMPEL	PARAMETER													JUMLAH
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI			
1	KR1051	Batuan	74.50	12.50	2.14	0.23	2.34	5.79	0.63	0.30	0.03	0.07	0.65	99.18		
2	KR1052	Batuan	74.10	12.90	1.76	0.23	2.67	5.74	0.88	0.24	0.03	0.06	0.51	99.12		
3	KR1053	Batuan	71.60	14.20	2.46	0.35	2.08	5.67	0.42	0.34	0.04	0.06	2.28	99.50		
4	KR1054	Batuan	66.70	17.00	2.25	0.33	3.74	7.34	0.25	0.30	0.02	0.06	1.53	99.52		

## LAMPIRAN 18

## CONTOH KEPUTUSAN ANALISIS LA-ICP-MS BAGI SAMPEL TANIH

Lokasi pensampelan: Kg. Tanggol, Marang, Terengganu

BIL	NO SAMPEL	KEDALAMAN (m)	Th	U	Sc	Y	LREE				TLREE		
							La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	
1	KNS00081E	5.0	28.50	7.77	13.50	146.00	651.00	1165.00	116.00	437.00	50.30	8.81	2441.61
2	KNS00081F	6.0	139.00	42.50	9.47	103.00	393.00	447.00	70.70	277.00	32.60	7.18	1236.95
3	KNS00081G	7.6	28.90	5.80	7.88	124.00	488.00	496.00	86.40	335.00	38.40	8.54	1460.22
4	KNS00067D	4.0	12.70	3.73	19.70	156.00	1233.00	819.00	205.00	745.00	69.10	14.50	3105.30
5	KNS00067E	5.0	4.98	5.20	32.80	324.00	1828.00	239.00	279.00	1018.00	94.90	20.40	3512.10
6	KNS00067F	6.0	4.28	7.27	27.80	118.00	857.00	121.00	147.00	533.00	50.20	10.70	1746.70

BIL	NO SAMPEL	HREE										THREE	TREE	ANOMALI	
		Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ce/Ce*	Eu/Eu*			La/Yb	
1	KNS00081E	47.10	5.02	32.10	5.62	15.40	2.18	13.50	1.65	268.57	2710.18	3.04	0.18	48.22	
2	KNS00081F	31.80	3.34	21.30	3.81	10.40	1.47	9.81	1.09	186.02	1422.97	1.93	0.22	40.06	
3	KNS00081G	38.80	3.89	25.10	4.43	11.80	1.70	11.20	1.27	222.19	1682.41	1.73	0.22	43.57	
4	KNS00067D	61.50	5.19	32.90	5.70	15.90	2.25	15.90	1.89	297.23	3402.53	1.14	0.22	77.55	
5	KNS00067E	97.30	8.10	51.90	9.10	25.50	3.64	25.60	2.84	547.98	4060.08	0.23	0.21	71.41	
6	KNS00067F	41.50	4.30	27.30	4.81	13.50	1.97	11.50	1.61	224.49	1971.19	0.24	0.23	74.52	

\*Keputusan REE dalam unit ppm.

## LAMPIRAN 19

## CONTOH KEPUTUSAN ANALISIS LA-ICP-MS BAGI SAMPEL BATUAN

Lokasi pensampelan: Kg. Pengkalan Utara – Kg. Mor, Parit Jawa, Johor

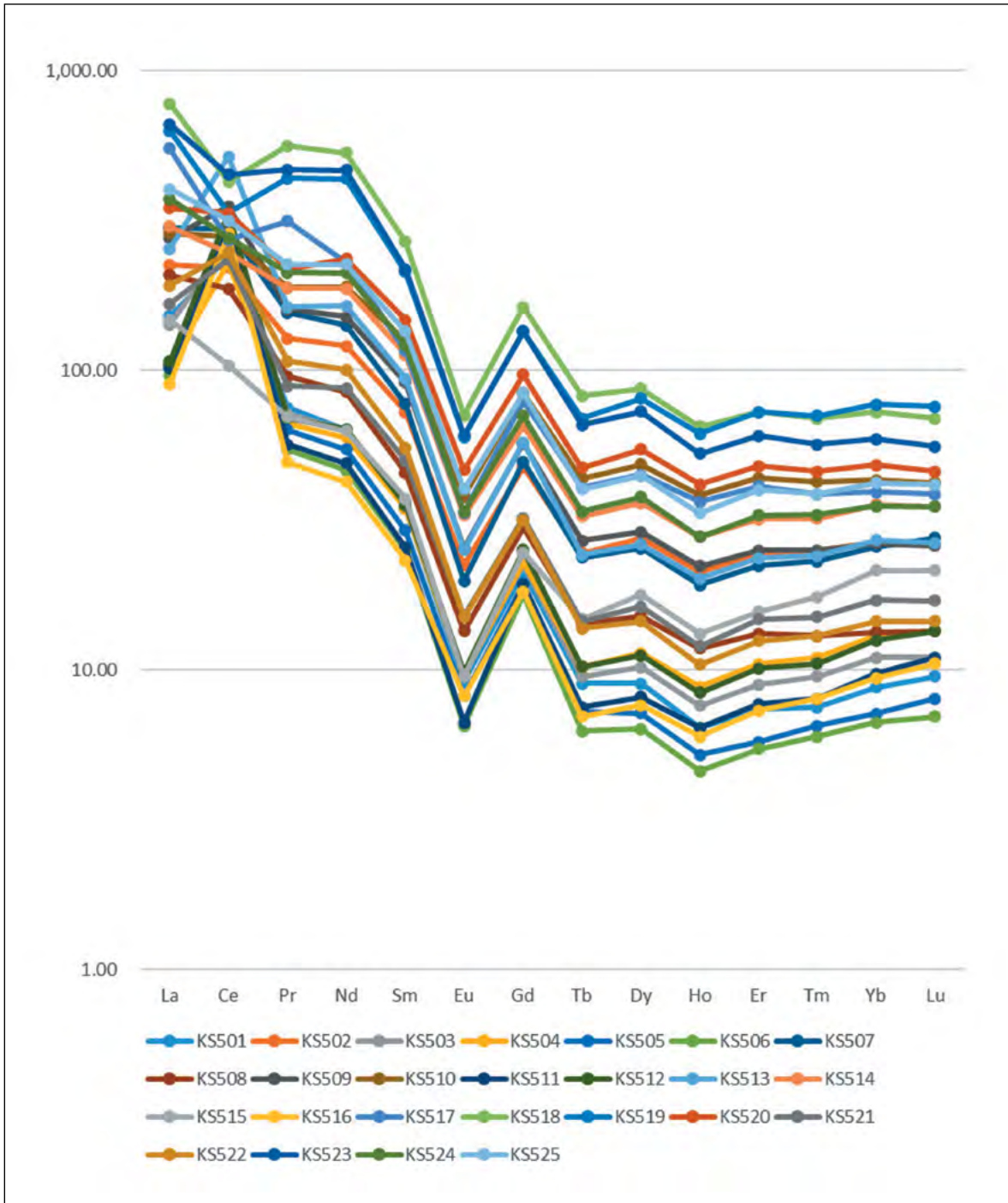
BIL	NO SAMPEL	Th	U	Sc	Y	LREE				TLREE		
						La	Ce	Pr	Nd		Sm	Eu
1	4153/R003	15.00	1.95	4.38	30.20	96.00	176.00	24.50	89.70	22.00	1.96	410.16
2	4153/R004	25.30	1.84	10.00	40.70	117.00	226.00	29.50	107.00	24.90	2.55	506.95
3	4153/R005	43.50	12.40	6.48	83.10	155.00	252.00	35.80	128.00	29.80	2.90	603.50
4	4153/R006	40.90	12.60	6.25	36.90	114.00	228.00	28.70	103.00	24.00	2.31	500.01
5	4153/R009	13.70	0.28	3.70	28.20	92.50	171.00	23.60	87.20	21.50	1.94	397.74
6	4153/R012	40.80	17.10	6.67	45.06	110.00	219.00	29.00	105.00	25.70	2.10	490.80

BIL	NO SAMPEL	HREE											THREE		TREE		ANOMALI	
		Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	THREE	TREE	Ce/Ce*	Eu/Eu*	La/Yb				
1	4153/R003	7.09	1.25	7.92	1.08	1.24	0.26	1.38	0.21	50.63	460.79	1.46	0.16	69.57				
2	4153/R004	9.37	1.59	9.96	1.43	2.39	0.74	3.90	0.54	70.62	577.57	1.43	0.17	30.00				
3	4153/R005	15.70	2.51	15.50	2.58	5.63	2.28	12.40	1.91	141.61	745.11	1.63	0.13	12.50				
4	4153/R006	8.51	1.51	9.07	1.32	1.96	0.58	2.87	0.40	63.12	563.13	1.41	0.16	39.72				
5	4153/R009	6.67	1.19	7.51	1.01	0.99	0.08	0.05	0.01	45.71	443.45	1.46	0.16	1850.00				
6	4153/R012	10.00	1.76	10.60	1.62	2.79	1.03	5.54	0.88	79.82	570.62	1.38	0.13	19.86				

\*Keputusan REE dalam unit ppm.

LAMPIRAN 20

CONTOH GRAF PENORMALAN KONDRIT

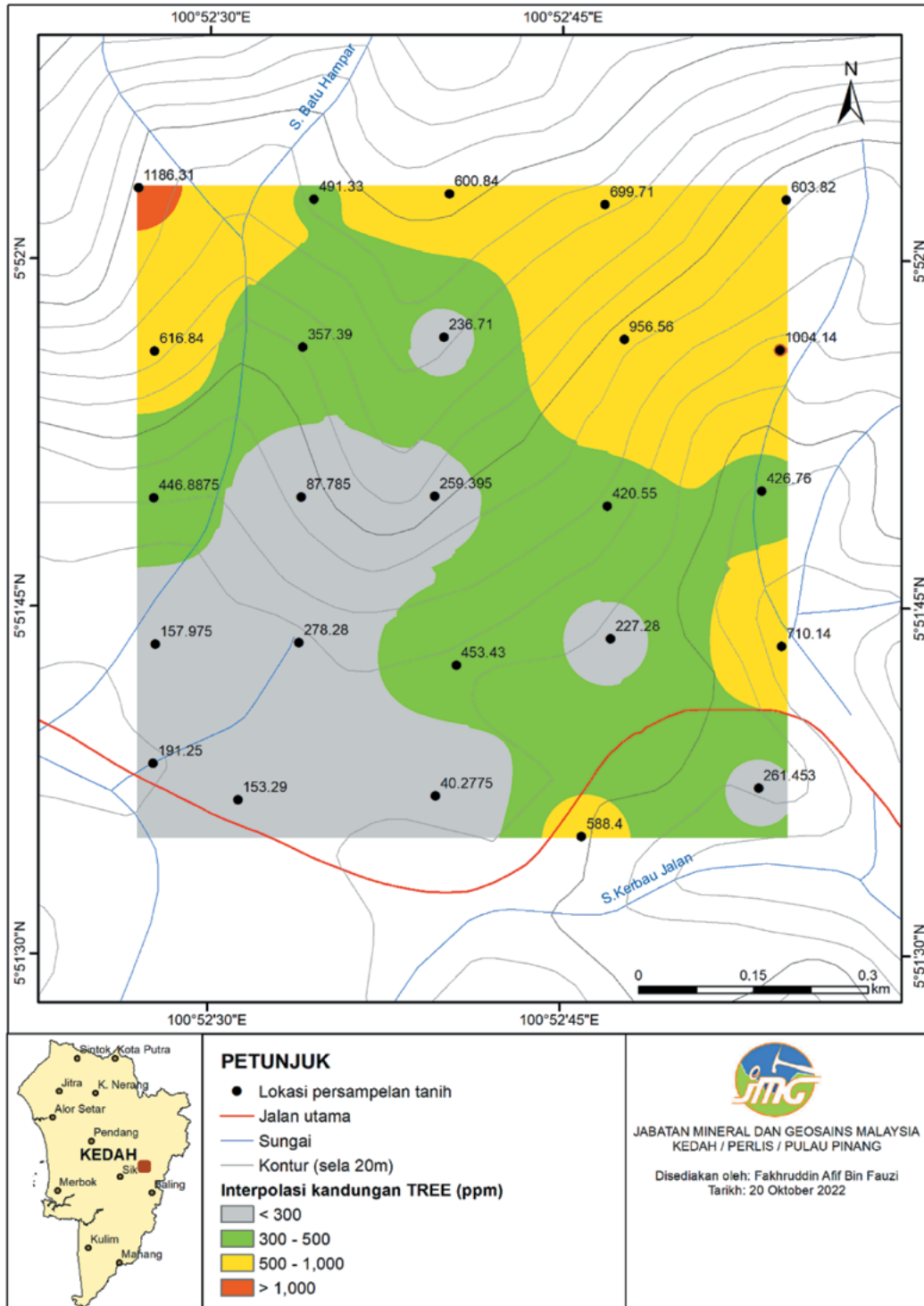


Lokasi kajian: Kg. Bandar, Baling, Kedah



LAMPIRAN 21

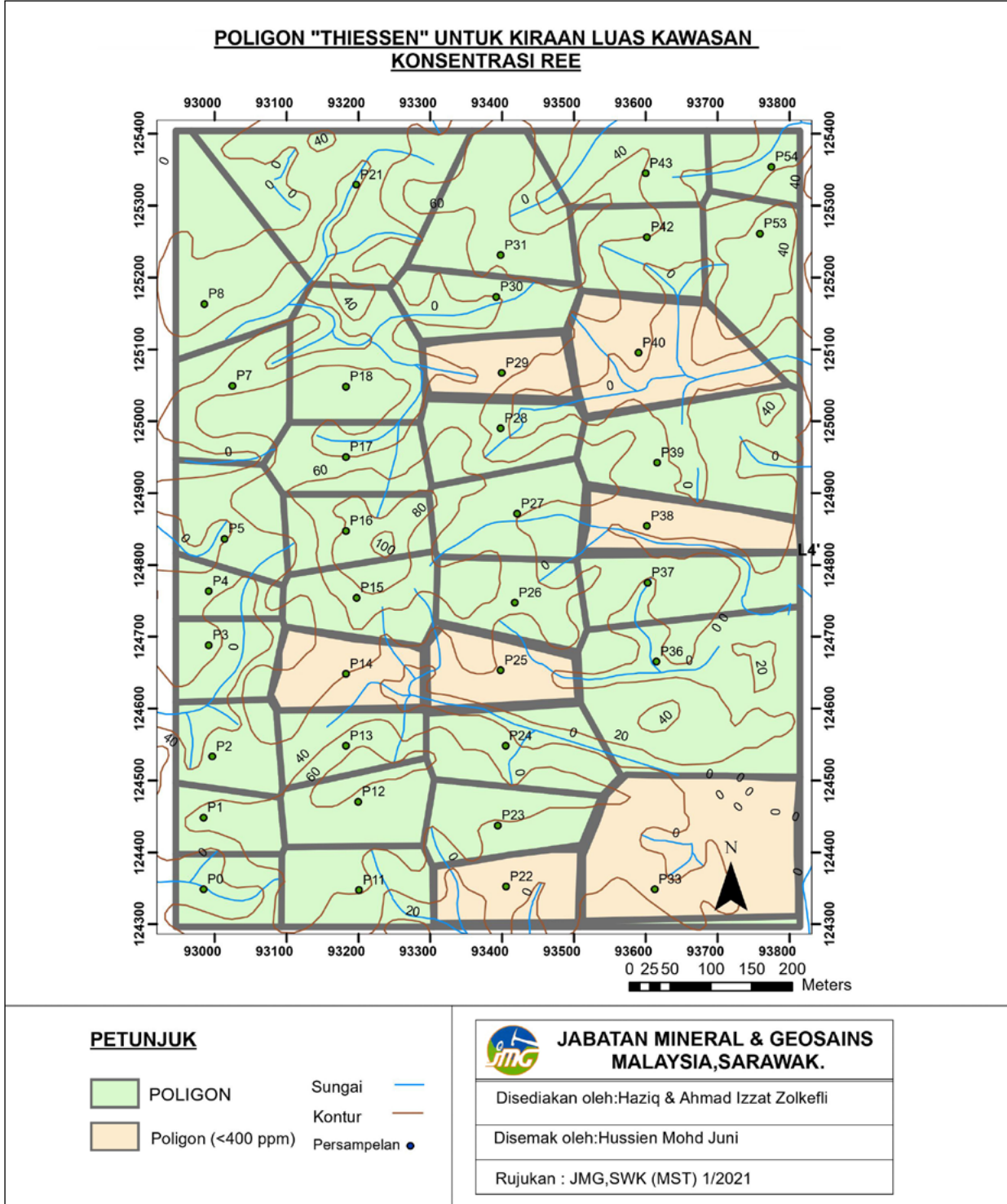
CONTOH TABURAN TREE DI KAWASAN KAJIAN SUSULAN MENGIKUT KELAS DENGAN INTERPOLASI KRIGING



Lokasi kajian: Kg. Bendang Man, Sik, Kedah

LAMPIRAN 22

CONTOH PENGIRAAN TREE MENGGUNAKAN KAEDAH POLIGON THIESEN



Rajah L22: Pengiraan kawasan tanah berpotensi menggunakan kaedah Poligon Thiessen. Pengiraan kawasan berpotensi hanya melibatkan poligon berwarna hijau (nilai REE melebihi 400 ppm).

Jadual L22: Pengiraan anggaran sumber tanah yang berpotensi REE di kawasan kajian.

LOKASI	LUAS (m <sup>2</sup> )	ISI PADU TANAH (m <sup>3</sup> )	TREE (kg/tan)	KETEBALAN (m)	KETUMPATAN (tan/m <sup>3</sup> )	KANDUNGAN IAC-REE (%)	SUMBER REE (kg)	SUMBER REE (tan)
P0	14,936	34,055	0.4745	2.28	1.5	65	15,754.69	15.75
P1	13,161	73,962	0.5267	5.62	1.5	65	37,983.34	37.98
P2	17,852	22,851	0.5899	1.28	1.5	65	13,142.56	13.14
P3	16,223	109,021	0.7278	6.72	1.5	65	77,360.11	77.36
P4	10,262	68,241	0.6041	6.65	1.5	65	40,194.54	40.19
P5	22,016	112,063	0.5890	5.09	1.5	65	64,354.08	64.35
P7	25,871	85,376	0.6069	3.30	1.5	65	50,518.32	50.52
P8	35,681	166,987	0.4614	4.68	1.5	65	75,121.64	75.12
P11	23,316	109,351	0.5269	4.69	1.5	65	56,177.15	56.18
P12	20,696	87,131	0.5223	4.21	1.5	65	44,370.38	44.37
P13	18,148	66,784	0.5090	3.68	1.5	65	33,143.55	33.14
P15	21,556	95,926	0.4599	4.45	1.5	65	43,012.65	43.01
P16	19,631	117,983	0.8826	6.01	1.5	65	101,527.91	101.53
P17	21,180	72,861	0.4629	3.44	1.5	65	32,883.36	32.88
P18	32,517	99,176	0.8735	3.05	1.5	65	84,465.21	84.47
P21	54,620	142,012	0.6348	2.60	1.5	65	87,895.49	87.90
P23	21,714	75,565	0.4537	3.48	1.5	65	33,426.62	33.43
P24	27,138	101,496	0.4126	3.74	1.5	65	40,830.37	40.83
P26	22,204	125,899	0.5838	5.67	1.5	65	71,661.02	71.66
P27	25,150	35,712	0.4617	1.42	1.5	65	16,076.48	16.08
P28	21,602	66,751	0.5431	3.09	1.5	65	35,345.72	35.35
P30	20,170	44,576	0.6755	2.21	1.5	65	29,358.11	29.36
P31	34,441	243,844	0.5784	7.08	1.5	65	137,512.41	137.51
P36	64,241	249,898	0.5315	3.89	1.5	65	129,500.00	129.50
P37	27,175	122,290	0.6093	4.50	1.5	65	72,647.03	72.65
P39	42,310	279,247	0.9905	6.60	1.5	65	269,678.33	269.68
P42	22,483	101,172	0.5805	4.50	1.5	65	57,262.94	57.26
P43	23,265	63,980	0.5290	2.75	1.5	65	32,998.64	33.00
P53	27,512	111,976	0.5870	4.07	1.5	65	64,085.43	64.09
P54	11,995	38,024	0.5728	3.17	1.5	65	21,235.73	21.24
<b>JUMLAH</b>		<b>3,124,209</b>					<b>1,869,523.81</b>	<b>1,869.52</b>

**LAMPIRAN 23****FORMAT KANDUNGAN LAPORAN EKSPLORASI REE PERINGKAT TINJAUAN**

<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	iii
<b>SENARAI RAJAH</b>	iv
<b>SENARAI JADUAL</b>	v
<b>SENARAI FOTO</b>	vi
<b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>	vii
<b><i>EXECUTIVE SUMMARY</i></b>	viii
<b>1.0 PENGENALAN</b>	1
1.1 Latar Belakang Kajian	1
1.2 Objektif Kajian	1
<b>2.0 LOKASI KAJIAN</b>	3
<b>3.0 KAJIAN KEPUSTAKAAN</b>	5
3.1 Pengenalan REE	5
3.2 Rejahan Granit Di Malaysia	6
3.3 Pembentukan dan Pengayaan REE	7
3.4 Deposit Lempung Jerapan Ion	7
<b>4.0 KAJIAN TERDAHULU</b>	9
<b>5.0 GEOLOGI AM</b>	10
<b>6.0 KAEDAH KAJIAN</b>	11
6.1 Cerapan Lapangan	11
6.2 Persampelan Tanih dan Batuan	11
6.3 Persampelan Konsentrat	11
6.4 Analisis / Ujian Makmal	12
6.5 Analisis Keputusan Makmal	12
<b>7.0 KEPUTUSAN KAJIAN</b>	16
7.1 Cerapan Lapangan	16
7.2 Keputusan Makmal	21

7.2.1 Analisis XRF	21
7.2.2 Analisis XRD	21
7.2.3 Analisis LA-ICP-MS	23
7.3 Ujian QME	28
<b>8.0 PERBINCANGAN</b>	<b>30</b>
8.1 Cerapan Lapangan	30
8.2 Pengayaan REE	31
8.3 Anomali REE	31
8.4 Kandungan Th dan U	32
<b>9.0 KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	<b>33</b>
<b>SENARAI RUJUKAN</b>	<b>34</b>

**LAMPIRAN 24****FORMAT KANDUNGAN LAPORAN EKSPLORASI REE PERINGKAT SUSULAN**

<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	iii
<b>SENARAI RAJAH</b>	iv
<b>SENARAI JADUAL</b>	v
<b>SENARAI FOTO</b>	vi
<b>RINGKASAN EKSEKUTIF</b>	vii
<b><i>EXECUTIVE SUMMARY</i></b>	viii
<b>1.0 PENGENALAN</b>	1
1.1 Latar Belakang Kajian	1
1.2 Objektif Kajian	1
<b>2.0 LOKASI KAJIAN</b>	3
<b>3.0 KAJIAN KEPUSTAKAAN</b>	5
3.1 Pengenalan REE	5
3.2 Rejahan Granit Di Malaysia	6
3.3 Pembentukan dan Pengayaan REE	7
3.4 Deposit Lempung Jerapan Ion	7
<b>4.0 KAJIAN TERDAHULU</b>	9
<b>5.0 GEOLOGI AM</b>	10
<b>6.0 KAEDAH KAJIAN</b>	11
6.1 Cerapan Lapangan Terperinci	11
6.2 Persampelan Tanah Bergrid dan Batuan	11
6.3 Analisis / Ujian Makmal	12
6.4 Analisis Keputusan Makmal	12
6.5 Survei Geofizik	13
6.6 Penentuan Sumber Terukur REE	15
6.7 Taburan Sumber REE	15

<b>7.0 KEPUTUSAN KAJIAN</b>	16
7.1 Cerapan Lapangan	16
7.2 Keputusan Makmal	21
7.2.1 Analisis XRF	21
7.2.2 Analisis XRD	21
7.2.3 Analisis LA-ICP-MS	23
7.3 Anomali REE	26
7.4 Survei Geofizik	29
7.5 Penentuan Sumber Terukur REE	29
7.6 Taburan Sumber REE	30
<b>8.0 PERBINCANGAN</b>	34
8.1 Cerapan Lapangan	34
8.2 Pengayaan REE	34
8.3 Anomali REE	38
8.4 Kandungan Th dan U	39
8.5 Ketebalan Profil Terluhawa (SUSULAN)	39
8.6 Taburan Sumber REE (SUSULAN)	40
<b>9.0 KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	41
<b>SENARAI RUJUKAN</b>	42

## **LAMPIRAN 25**

### **FORMAT KULIT LAPORAN BAGI KAJIAN PERINGKAT TINJAUAN**

#### **RANCANGAN MALAYSIA KESEBELAS PROJEK PENILAIAN POTENSI SUMBER UNSUR NADIR BUMI**

#### **KAJIAN TINJAUAN UNSUR NADIR BUMI DI KAWASAN RIIH, SERIAN, SARAWAK**

**NO. LAPORAN: JMG.SWK (REE) 01/2021**



## LAMPIRAN 26

### FORMAT KULIT LAPORAN BAGI KAJIAN PERINGKAT SUSULAN

### RANCANGAN MALAYSIA KEDUA BELAS PROJEK PENILAIAN POTENSI SUMBER UNSUR NADIR BUMI

### PENILAIAN POTENSI SUMBER UNSUR NADIR BUMI DI KAWASAN BUKIT GANTANG, SELAMA, PERAK

**NO. LAPORAN: JMG.PRK (REE) 01/2023**

**LAMPIRAN 27**

**FORMAT MUKA DALAM / MUKA SURAT TAJUK  
BAGI KAJIAN PERINGKAT TINJAUAN**

**RANCANGAN MALAYSIA KEDUA BELAS  
PROJEK PENILAIAN POTENSI SUMBER UNSUR NADIR BUMI**

**KAJIAN TINJAUAN UNSUR NADIR BUMI  
DI KAWASAN RIIH, SERIAN, SARAWAK**

Oleh:

**LEDYHERNANDO TANIOU  
HUSSIEN MOHD JUNI**

**NO. LAPORAN: JMG.SWK (REE) 01/2021**

**JABATAN MINERAL DAN GEOSAINS MALAYSIA**  
Department of Mineral and Geoscience Malaysia

**LAMPIRAN 28**

**FORMAT MUKA DALAM / MUKA SURAT TAJUK  
BAGI KAJIAN PERINGKAT SUSULAN**

**RANCANGAN MALAYSIA KEDUA BELAS  
PROJEK PENILAIAN POTENSI SUMBER UNSUR NADIR BUMI**

**PENILAIAN POTENSI SUMBER UNSUR NADIR BUMI  
DI KAWASAN BUKIT GANTANG, SELAMA, PERAK**

Oleh:

**FARID BIN ZAINUDIN  
MAHAT BIN HJ. SIBON**

**NO. LAPORAN: JMG.PRK (REE) 01/2023**

**JABATAN MINERAL DAN GEOSAINS MALAYSIA**  
Department of Mineral and Geoscience Malaysia

ISBN 978-629-97485-9-5



**Jabatan Mineral dan Geosains Malaysia**

Aras 8 dan 9, Menara PjH,  
No. 2, Jalan Tun Abdul Razak, Presint 2,  
62100 W.P. Putrajaya,  
MALAYSIA

Tel: +603-8871 6000 | Faks: +603-8871 6145  
[www.jmg.gov.my](http://www.jmg.gov.my)