

**TESIS**

**STUDI KETERDAPATAN DAN PENGAYAAN  
LOGAM TANAH JARANG (LTJ)  
PADA BATUAN VULKANIK FORMASI ADANG  
KABUPATEN MAMUJU PROVINSI SULAWESI BARAT**

**Disusun dan diajukan oleh**

**RONI RITONGA  
NIM. D062 18 1005**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

**STUDI KETERDAPATAN DAN PENGAYAAN  
LOGAM TANAH JARANG (LTJ)  
PADA BATUAN VULKANIK FORMASI ADANG  
KABUPATEN MAMUJU PROVINSI SULAWESI BARAT**

Disusun dan diajukan oleh

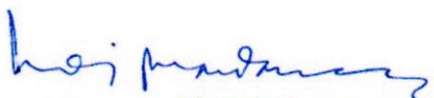
**RONI RITONGA  
NIM. D062181005**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 23 Agustus 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



**Prof. Dr. Eng. Adi Maulana, S.T., M.Phil.**  
NIP. 19800428 200512 1 001



**Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T.**  
NIP. 19650928 200003 1 002

Ketua Program Studi  
Magister Teknik Geologi



**Dr. Ir. Ratna Husain L., M.T.**  
NIP. 19590202 198601 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : RONI RITONGA

Nomor Mahasiswa : D062 18 1005

Program Studi : Teknik Geologi

Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul **Studi Keterdapatan dan Pengayaan Logam Tanah Jarang (LTJ) Pada Batuan Vulkanik Formasi Adang Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat..**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain, bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 09 Agustus 2021

Yang menyatakan;



**RONI RITONGA**

## PRAKATA

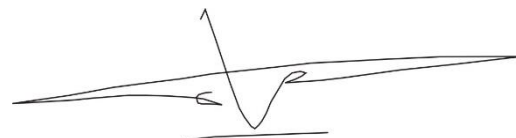
Puji dan syukur kepada Allah Subhana Wata'ala atas segala limpahan rahmat, kesehatan dan kasih sayangNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis dan mempertahankannya didepan panitia Ujian Tesis yang berjudul Studi Keterdapatan dan Pengayaan Logam Tanah Jarang (LTJ) Pada Batuan Vulkanik Formasi Adang Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Bapak dan Ibu Dosen pada Program studi Magister Teknik Geologi Universitas Hasanuddin, terutama Bapak Dosen Penasehat Utama Prof. Adi Maulana, Dr.Eng., S.T., M.Phil. dan Bapak Dr. Adi Tonggiroh, S.T., M.T. sebagai Penasehat Anggota atas meluangkan waktunya membahas dan memberi arahan, bimbingan dan motivasi yang telah diberikan.

Tesis ini tentu masih jauh dari kesempurnaan dan berbagai kekurangan. Oleh karena itu, diharapkan dukungan dari pembaca untuk dapat memberikan saran dan masukan demi perbaikan dan penyempurnaannya.

Makassar, Agustus 2021

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Roni Ritonga', written over a horizontal line.

Roni Ritonga

## ABSTRAK

Roni Ritonga. Studi keterdapatan dan pengayaan logam tanah jarang (LTJ) pada batuan vulkanik Formasi Adang Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat (dibimbing oleh Prof. Adi Maulana dan Adi Tonggiroh).

Studi tentang keterdapatan logam tanah jarang (LTJ) dilakukan di wilayah Desa Botteng Utara, Kecamatan Simboro dan Desa Kelapa Tujuh, Kecamatan Mamuju Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi dan keterdapatan UTJ dan mengetahui jenis batuan yang menjadi pembawa UTJ serta hubungan keterdapatan UTJ dengan unsur Zr sebagai salah satu unsur yang berasosiasi dengan UTJ. Metode analisis yang digunakan yaitu dengan melakukan pengamatan petrografi untuk mengetahui jenis batuan induk pembawa UTJ dan metode ICP- MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) untuk mengetahui kandungan UTJ. Sampel diambil dari hasil pemboran di 3 lokasi yang berbeda yaitu Kelompok 1 yang berasal dari sampel lubang bor K-01 dan Kelompok 2 yang berasal dari sampel lubang bor K-62 di daerah perbukitan Kelapa Tujuh sementara Kelompok 3 yang berasal dari sampel lubang bor P-05 di daerah perbukitan Pasada Botteng. Berdasarkan hasil pengamatan petrografi pada batuan pembawa UTJ dihasilkan bahwa batuan induk yang mengandung UTJ yaitu batuan basalt leusit dari batuan Formasi Adang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan UTJ (dalam *TRE atau total rare earth*) pada sampel Kelompok 1,2 dan 3 secara keseluruhan menunjukkan nilai kadar yang tinggi yang berkisar antara 2000 ppm – 6400 ppm dan memperlihatkan variasi kedalaman dalam pengayaannya. Kandungan total UTJ yang terbesar pada Kelompok 1 dijumpai pada sampel dari kedalaman 9 – 11 meter yaitu sebesar 4600 ppm, sedangkan pada Kelompok 2 dijumpai pada kedalaman 4 – 5 meter yang menunjukkan total UTJ sebesar 2380 ppm dan pada Kelompok 3 nilai terbesar UTJ dijumpai pada kedalaman 6 – 7 meter yaitu sebesar 6400 ppm. Kadar unsur Zr pada sample Kelompok 1 menunjukkan nilai antara 1780 ppm – 2870 ppm dengan kedalaman sampel yang tertinggi yaitu pada kedalaman 7 meter . Pada sample kelompok 2 (titik K-62) kandungan unsur Zr menunjukkan nilai kadar yang berkisar antara 1670 ppm – 2380 ppm dengan kandungan Zr tertinggi berada pada kedalaman 4 meter sedangkan pada Kelompok 3 (titik P-05) kadar unsur Zr menunjukkan nilai kadar dengan kisaran 2100 ppm – 4480 ppm dan konsentrasi tertinggi dijumpai pada sampel dari kedalaman 11 meter. Hasil studi menunjukkan bahwa hubungan antara UTJ dengan unsur Zr pada sampel kelompok 2 memperlihatkan suatu hubungan yang positif dimana UTJ

dan Zr terkayakan pada sampel dari kedalaman 4 meter. Sedangkan pada sampel kelompok 1 dan 3 menunjukkan hubungan yang variatif. Konsentrasi UTJ dikontrol oleh titik elevasi ketinggian, dimana daerah dengan konsentrasi UTJ yang tinggi dijumpai pada daerah dengan elevasi diatas 359 mdpl sedangkan UTJ yang rendah dijumpai pada daerah dengan elevasi kurang dari 365 mdpl. Pengayaan UTJ disebabkan oleh proses pelapukan (*weathering*) yang terjadi pada basalt leusit di daerah penelitian.

Kata Kunci : Unsur Tanah Jarang, Mamuju, Fanolit Leusit

## ABSTRACT

Roni Ritonga, *The Study on the occurrence and enrichment of Rare earth elements distribution in volcanic rock formation Adang from Mamuju Regency area, West Sulawesi Province.* (Prof. Adi Maulana dan Adi Tonggiroh)

*The study on the occurrence and enrichment of rare earth elements (REE) was carried out at North Botteng Village, Simboro District and Kelapa Tujuh Village, Mamuju District, Mamuju Regency, West Sulawesi Province. This study aims to determine the potential and the occurrence of REE, to identify the REE-bearing rock furthermore, to understand the relationship between the presence of REE and Zr element as one of REE associated elements. The analytical method used include petrographic observations to determine the REE-bearing host rock and the ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) method to determine the REE content. Samples were drilled hole samples taken from 3 different locations, Group 1; K-01 drill hole sample and Group 2; K-62 drill hole sample from Kelapa Tujuh hilly area while Group 3 taken from the P-05 drill hole sample in the hilly area of Pasada Botteng. Based on the results of petrographic observations on REE-bearing rocks, it shows the REE host rock to be Tephritic leucite rock composed of leucite, pyroxene, plagioclase, phlogophyte minerals from the Adang Formation. The results showed that the REE content (in TRE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or total rare earth oxide) in the samples of Groups 1,2 and 3 as a whole portrays a high concentration values ranging from 2000 ppm - 6400 ppm and furthermore showed variations in depth of the enrichment. The largest total REE content in Group 1 found in samples at a depth of 9 - 11 meters, which is 4600 ppm, while in Group 2 at a depth of 4 - 5 meters with a total REE value of 2380 ppm and in Group 3 the largest value of REE content encountered at a depth of 6 - 7 meters, which is 6400 ppm. Zr content in Group 1 samples shows value range between 1780 ppm - 2870 ppm for the deepest sample collected at a depth of 7 meters. Group 2 samples (K-62) show the Zr content ranging between 1670 ppm - 2380 ppm with the highest Zr concentration at a depth of 4 meters while in Group 3 (P-05) the Zr content show values ranging from 2100 ppm - 4480 ppm with the highest concentration encountered a depth of 11 meters. The study results show that the relationship between REE and Zr element in group 2 samples showed a positive relationship where REE and Zr are enriched in samples at a depth of 4 meters. Meanwhile, the groups 1 and 3 samples show a varied relationship. The REE concentration is controlled by elevation, where areas with higher REE concentrations are encountered at elevations above 359 masl while low REE content concentrates*

*in areas with elevations below 365 masl. REE enrichment is caused by weathering process that occurs on leucite tephrite in the study area*

*Keywords: Rare Earth Elements, Mamuju, fonolit leucitite*



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL DEPAN .....</b>	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....</b>	iii
<b>PRAKATA .....</b>	iv
<b>ABSTRAK .....</b>	v
<b><i>ABSTRACT</i>.....</b>	vii
<b>DAFTAR ISI.....</b>	ix
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	xii
<b>DAFTAR FOTO .....</b>	xvi
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah .....	4
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Manfaat Penelitian .....	5
E. Ruang Lingkup Penelitian .....	5
F. Penelitian Terdahulu .....	6
G. Daftar Istilah .....	6

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	8
A Stratigrafi Regional.....	8
B Logam Tanah Jarang .....	10
B.1 Pengertian dan Sejarah Logam Tanah Jarang .....	11
B.2 Genesa Pembentukan Logam Tanah Jarang .....	14
B.4 Kegunaan Unsur Logam Tanah Jarang.....	28
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	32
A. Rancangan Penelitian .....	32
B. Lokasi dan Kesampaian Daerah .....	33
C. Tahapan Penelitian .....	35
C.1 Tahap Persiapan.....	35
C.2 Tahap Pengambilan Data Lapangan .....	36
C.2.1 Pemetaan Geologi.....	36
C.2.2 Pengambilan Sampel .....	36
C.2.3 Pemboran.....	36
C.3 Analisis Laboratorium .....	37
C.3.1 Analisis Petrografi .....	38
C.2.2 Analisis ICP-MS dan ICP-OES.....	39
C.2.3 Analisis XRF ( <i>X-ray fluorescence spectrometry</i> ) .....	39
C.4 Pengolahan Data.....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	42
A. Litologi.....	42
A.1 Lava Fonolit Leusit.....	42

A.2 Breksi Vulkanik .....	46
A.3 Batugamping.....	49
B. Kandungan Unsur Logam Tanah Jarang .....	50
C. Pengayaan Logam Tanah Jarang.....	56
D. Relasi Antara Logam Tanah Jarang dan Zirkon .....	65
E. Sebaran Unsur Logam Tanah Jarang .....	69
F. Batuan Sumber Pembawa Logam Tanah Jarang .....	72
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>77</b>
A. Kesimpulan .....	77
C. Saran.....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>		<b>Halaman</b>
2.1	Peta Geologi Regional (Ratman dan Atmawinata,1993).	9
2.2	Tabel periodic LTJ, merupakan kelompok 15 unsur lantanida ditambah itrium dan scandium.	12
2.3	Penggolongan endapan bijih tipe sekunder dari UTJ (Maulana dkk., 2016)	15
2.4	Penampang geologi dari bijih endapan UTJ di Bayan Obo, China	17
2.5	Distribusi UTJ yang di normalisasikan dengan komposisi chondrite dari bijih UTJ hasil <i>ion abdsorption clay</i> di China	22
2.6	Distribusi UTJ yang dinormalisasikan dengan komposisi <i>chondrite</i> pada laterit dan karbonatit dari Mount Weld di Australia	22
2.7	Profil endapan nikel laterit yang mengandung scandium dari Sulawesi, Indonesia (Akane, dkk. 2020)	23
2.8	Keterdapatan nodul-nodul mangan, kerak kobal ( <i>cobalt crust</i> ), lumpur laut ( <i>marine mud</i> ) dan fosforit pada cekungan laut, <i>seamounts</i> dan batas continental ( <i>continental margin</i> )	27
3.1	Peta Lokasi daerah penelitian	33
3.2	Bagan alir ( <i>flowchart</i> ) penelitian	41
4.1	Grafik konsentrasi pengayaam LTJ dengan kedalaman hasil pengeboran titik bor K05 daerah Kelapa Tujuh	57
4.2	Grafik konsentrasi pengayaam LTJ dengan kedalaman hasil pengeboran titik bor K65 daerah Tamasapi	58
4.3	Grafik konsentrasi pengayaam LTJ dengan kedalaman hasil pengeboran titik bor P02 daerah pasada	59
4.4	Grafik konsentrasi Zirkon dan Kadar Total LTJ pada data bor K 04)	66
4.5	Kadar vs Kedalaman pada Zona K (Titik K_62)	67
4.6	Kadar vs Kedalaman pada Zona P (Titik P_05)	69
4.7	Penampang Endapan Laterit LTJ (A) Pasada dan (B) Kelapa Tujuh	71
4.8	Hasil <i>plotting</i> sampel ST-6B pada diagram klasifikasi komposisi magmatik SiO <sub>2</sub> dan K <sub>2</sub> O, Peccerillo <i>and</i> Taylor (1976).	73

4.9	Hasil <i>plotting</i> sampel ST-6B pada diagram klasifikasi komposisi magmatik Co dan Th ( <i>immobile</i> ), Hastie <i>et al</i> (2007)	74
4.10	Peta Geologi Daerah Penelitian	75
4.11	Peta sebaran logam tanah jarang	76

## DAFTAR FOTO

<b>Foto</b>		<b>Halaman</b>
3.1	Ruas jalan dan akses jalan menuju lokasi penelitian	34
3.2	Pengambilan data sampel secara vertikal menggunakan mesin bor	37
4.1	Kenampakan lapangan Lava fonolit leusit yang tersingkap di daerah Sungai Kali Mamuju	43
4.2	Foto sayatan tipis sampel batuan fonolit leusit yang didominasi oleh mineral leucite, pyroxene, biotite dan plagioclase	43
4.3	Foto sayatan tipis sampel batuan fonolit leusit yang didominasi oleh mineral leucite dan feldspar (plagioclase dan K-feldspar)	44
4.4	Kenampakan lapangan Lava fonolit leusit yang tersingkap di daerah Tamasapi	45
4.5	Kenampakan breksi vulkanik, dengan fragmen phanolit leusit lapuk yang tersingkap di daerah anak Sungai Pasada	46
4.6	Foto sayatan tipis sampel batuan fonolit leusit yang didominasi oleh mineral leucite, pyroxene dan feldspar (plagioclase dan K-feldspar); biotite pada massadasar mikrokristalin	47
4.7	Foto sayatan tipis sampel batuan tephrite leucitites yang didominasi oleh mineral pyroxene dan leucite	48
4.8	Kenampakan singkapan batugamping yang tersingkap di daerah Padang Baka	49
4.9	Foto sayatan tipis sampel batugamping yang didominasi oleh skeletal grain	50
4.10	Kenampakan lapangan hasil lapukan fanolit leusit di daerah penelitian (A) Kelompok 1 (Kelapa Tujuh), (B) Kelompok 2 (Tamasapi), (C) Kelompok 3 (Pasada),	54
4.11	Kenampakan lapangan sampel bedrock di daerah penelitian (A) fonolit leusit dari Kelapa Tujuh, (B) fonolit leusit dari Tamasapi, (C) Fragmen breksi vulkanik berupa fonolit leusit Pasada Botteng	55
4.12	Kenampakan profil pelapukan yang menunjukkan Horizon A (lapisan soil) di bagian permukaan dan horizon B dibagian bawah di wilayah Kelapa Tujuh	63
4.13	Kenampakan profil pelapukan yang menunjukkan Horizon A (lapisan soil) di bagian permukaan dan horizon B dibagian bawah di wilayah di wilayah Tamasapi	64
4.14	Kenampakan profil pelapukan yang menunjukkan Horizon A (lapisan soil) di bagian permukaan dan	64

- horizon B dibagian bawah di wilayah di wilayah  
Pasada Botteng
- 4.15 Kenampakan horizon C (lapisan saprolite) daerah  
kelapa tujuh (A) dan daerah Pasada Botteng (B) 65

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>		<b>Halaman</b>
2.1	Lokasi keterdapatan tambang UTJ di dunia beserta tipe endapannya	11
2.2	Tipe endapan yang mengandung scandium	23
4.1	Kandungan Rata Rata komposisi Logam Tanah Jarang dan zirkon hasil pengeboran pada Kelompok 1 di Wilayah Kelapa Tujuh	52
4.2	Kandungan Rata Rata Logam Tanah Jarang dan zirkon hasil pengeboran pada Kelompok 2 di Wilayah Tamasapi	52
4.3	Kandungan Rata Rata Logam Tanah Jarang dan zirkon hasil pengeboran pada Kelompok 3 di Wilayah Pasada Botteng	53
4.4	Kandungan Rata Rata Logam Tanah Jarang dan zirkon dari sampel bedrock stasiun T3, T4 dan B5	53
4.5	Kadar keterdapatan LTJ pada titik bor K05 dengan kedalaman 20 m	57
4.6	Kadar keterdapatan LTJ pada titik bor K65 dengan kedalaman 18 m	58
4.7	Kadar keterdapatan LTJ pada titik bor P02 dengan kedalaman 18 m	59
4.8	Kadar TRE dan Zr pada zona K, titik K_04 dengan kedalaman 18 meter	66
4.9	Kadar TRE dan Zr pada titik K_62 dengan kedalaman 11 meter	67
4.10	Kadar TRE dan Zr pada P-05 dengan kedalaman 20 m	68
4.11	Parameter statistik deskriptif variabel Zr, TRE, LREE dan HREE Daerah Kelapa Tujuh	70
4.12	Parameter statistik deskriptif variabel Zr, TRE, LREE dan HREE Daerah Pasada	70



## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran

- B Deskripsi Petrografi
- E Hasil Analisis XRF, ICP-MS dan ICP-OES
- F Peta Administrativ Daerah Penelitian
- G Peta Geologi Daerah Penelitian
- H Peta Stasiun Pengambilan Sampel
- I Peta Potensi LTJ

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. LATAR BELAKANG**

Kelompok unsur tanah jarang lebih dikenal dengan istilah logam tanah jarang. Berdasarkan pasal 27A Undang Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, Logam Tanah Jarang atau yang dikenal dengan singkatan LTJ termasuk golongan mineral logam. LTJ merupakan salah satu dari mineral strategis dan termasuk "*critical mineral*" terdiri dari kumpulan dari unsur-unsur scandium (Sc), lanthanum (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), lutetium (Lu) dan yttrium (Y), Badan Geologi, 2019.

Saat ini bahan galian logam tanah jarang menjadi perbincangan hangat bagi kalangan ahli geologi baik nasional maupun internasional, dikarenakan bahan galian ini telah menjadi komoditas yang sangat bernilai ekonomi dan sebagai bahan baku yang sangat penting bagi peralatan dan teknologi kebutuhan masyarakat modern mulai dari computer, ponsel, televisi, lampu hingga pembangkit listrik ramah lingkungan turbin angin dan peralatan militer berteknologi tinggi. Untuk mendorong pertambangan

logam tanah jarang ini, Pemerintah Indonesia telah memetakan penyebaran potensi logam Tanah Jarang di berbagai wilayah di Indonesia dan salah satunya terdapat di wilayah pulau Sulawesi yang dianggap memiliki potensi keterdapatan logam tanah jarang.

Indikasi kuat keberadaan Logam Tanah Jarang di Sulawesi, telah diungkapkan oleh Maulana dkk. (2013) bahwa variasi lateral dan spasial kerentanan magnetik batuan granit dari Sulawesi, merupakan implikasi bagi genesis magma dan metalogenik regional. Penelitian oleh Maulana (2014) pertama kali mengungkap tentang potensi LTJ di Sulawesi, bahwa pengayaan LTJ dihasilkan oleh proses pelapukan batuan granitik tipe I dan *calc-alkaline to high-K (shoshonitic)* dari batuan granitik Mamasa. Keberadaan LTJ dijumpai pada profil pelapukan batuan granit yang membentuk beberapa lapisan.

Daerah penyelidikan terletak di wilayah perbukitan Mamuju sebelah timur dari Kota Mamuju hingga ke selatan, yang secara administrasi terletak di Desa Botteng Utara, Kecamatan Simboro dan Desa Kelapa Tujuh, Kecamatan Mamuju yang masih termasuk dalam wilayah Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat. Pencapaian daerah dapat menggunakan mobil atau sepeda motor dalam waktu kurang lebih 25 menit dari Kota Mamuju.

Berdasarkan kondisi litologi regional daerah penelitian yang terletak di Provinsi Sulawesi Barat Bagian Barat Pulau Sulawesi, dimana litologinya terdiri dari tufa, lava dan breksi gunungapi, terutama

berkomposisi leusit-basalt sebagian mikaan, kelompok batuan ini merupakan Formasi Batuan Gunungapi Adang (Tma) dan kelompok batuan Formasi Mamuju (Tmm) terdiri dari napal, kalkarenit, batugamping koral bersisipan tuf dan batupasir setempat konglomerat, serta batuan penyusun dari Formasi Mamuju, Anggota Tapalang (Tmmt) terdiri dari batugamping terumbu, batugampingan kepingan dan napal (Ratman dan S. Atmawinata 1993). Salah satu jenis batuan yang menarik untuk dikaji lebih lanjut sehubungan dengan potensi LTJ ini adalah batuan vulkanik yang bersifat High-K alkalin sampai dengan shosonitik. Seperti sebelumnya dilaporkan bahwa salah satu jenis batuan yang mempunyai potensi LTJ adalah batuan dengan komposisi shosonitik (Maulana dkk, 2013; Saban dkk, 2018). Namun sampai saat ini, penelitian tentang potensi LTJ di batuan vulkanik dengan sifat high-K alkalin ini masih belum banyak dilakukan.

Di daerah penelitian sebagian wilayahnya terdapat Blok Izin Usaha Pertambangan (IUP) Eksplorasi PT. Suryamica, dimana komoditas bahan galian yang direncanakan untuk di tambang yaitu mineral bukan logam berupa zirkon.

Dari kondisi litologi regional daerah penelitian dan adanya rencana usaha PT. Suryamica untuk melakukan usaha pertambangan mineral zirkon di daerah ini, peneliti menganggap daerah ini sangat menarik untuk dilakukan penelitian lebih lanjut akan keberadaan LTJ dengan adanya kehadiran zirkon di material lapukan batuan mafik. Sehingga peneliti

memaksimalkan data hasil pengeboran yang telah di peroleh dari pihak perusahaan untuk mengetahui keterdapatan LTJ pada hasil pelapukan batuan vulkanik yang bersifat high-alkalin dan mengetahui jenis batuan vulkanik pembawa LTJ di daerah Mamuju dan sekitarnya.

### **B. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengetahui LTJ apa saja yang terdapat di wilayah penelitian?
2. Bagaimana pola pengayaan LTJ secara vertikal akibat proses pelapukan di daerah penelitian?
3. Bagaimana mengetahui relasi atau hubungan antara LTJ dan Zr di daerah penelitian?
4. Bagaimana potensi sebaran LTJ yang terdapat di wilayah penelitian berdasarkan nilai total LTJ (LRE)?
5. Bagaimana mengetahui batuan sumber pembawa LTJ di daerah penelitian?

### **C. Tujuan Penelitian**

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian, sebagai berikut :

1. Mengetahui jenis LTJ apa saja yang terdapat di wilayah penelitian,
2. Mengetahui pola pengayaan LTJ secara vertikal akibat proses pelapukan di daerah penelitian,

3. Mengetahui relasi atau hubungan antara LTJ dan Zr di daerah penelitian
4. Mengetahui potensi LTJ berdasarkan nilai total LTJ (LRE),
5. Mengetahui batuan sumber pembawa Logam Tanah Jarang (LTJ) di daerah penelitian.

#### **D. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perkembangan informasi dan ilmu pengetahuan khususnya geokimia mineral terkait unsur logam tanah jarang.
2. Dengan adanya penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pemerintah setempat tentang potensi komoditas mineral logam tanah jarang yang terdapat di wilayah Mamuju dan sekitarnya.

#### **E. Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun ruang lingkup/batasan dari penelitian ini adalah bagaimana keterdapatannya, pola kimia unsur logam tanah jarang dan unsur major-minor lainnya pada batuan beku daerah penelitian dengan menggunakan metode pemetaan dan geokimia. Sehingga diketahui kandungan unsur Logam Tanah Jarang (LTJ), potensi sebaran LTJ dan batuan sumber pembawa mineral LTJ di daerah penelitian.

## F. Penelitian Terdahulu

1. Ratman N, Atmawinata S, 1993, Pemetaan Geologi Regional Lembar Mamuju, Sulawesi skala 1: 250.000,
2. Maulana, A., K. Yonezu, K. Watanabe. 2014. *Geochemistry of rare earth element (REE) in the weathered crusts from the granitic rock in Sulawesi Island.*
3. I Gde Sukadana, Agun Harijoko, dan Lucas Donny Setjadji, 2015. Melakukan penelitian Tataan Tektonik Batuan Gunung Api di Komplek Adang, Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat.
4. Saban, G., Fadlin, Priadi, B. 2016. Geochemical Signatures of Potassic to Sodic Adang Volcanics, Western Sulawesi: Implications for Their Tectonic Setting and Origin.
5. Surono dan Hartono, U., "Geologi Sulawesi", Pusat Survei Geologi, Badan Geologi,

## G. Daftar Istilah

1. Logam Tanah Jarang (*Rare Earth Elements*) adalah sekelompok tujuh belas unsur kimia yang terdapat pada tabel periodik yang terdiri dari itrium, skandium dan 15 unsur lantanida (lantanum, serium, praseodimium, neodimium, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, disprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, dan lutetium). (<https://geology.com/articles/rare-earth-elements/>).

2. Logam tanah jarang yang ringan atau *light rare earth element* (LREEs), yaitu unsur lanthanum (La) sampai europium (Eu) ( $Z=57$  hingga 63), (Maulana, 2021)
3. Logam tanah jarang yang berat atau heavy rare earth element (HREEs), yaitu unsur gadolinium (Ga) sampai lutetium (Lu) ( $Z=64$  hingga 71). Adapun yttrium (Y) yang merupakan LTJ palingan ringan, biasanya dikelompokkan dengan HREEs berdasarkan kesamaan sifat kimia dan fisik (Maulana, 2021)
4. Tabel periodic, yaitu susunan unsur kimia dalam bentuk table yang diurutkan berdasarkan nomor atomnya sehingga sifat periodic kimia unsur menjadi jelas.
5. Zirkon, yaitu mineral dari kelompok nesosilikat yang disusun oleh Zr dan banyak mengandung unsur tanah jarang.
6. Formasi adalah satuan dasar dalam pembagian satuan litostartigrafi, memiliki keseragaman atau ciri-ciri litologi yang nyata, baik terdiri dari satu macam jenis batuan, perulangan dari dua jenis batuan atau lebih.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

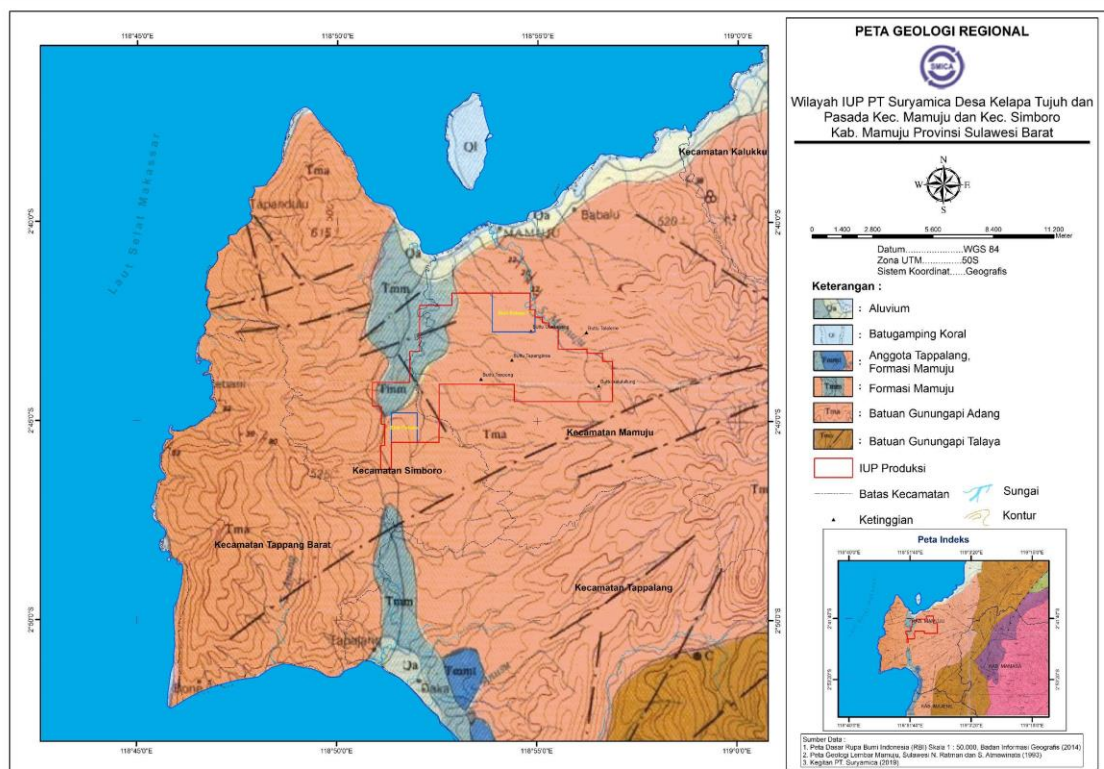
#### A. Stratigrafi Regional

Berdasarkan Ratman dan S. Atmawinata (1993), adapun susunan batuan yang berumur dari tua ke muda sebagai berikut (Gambar 2.1) :

**Formasi Latimojong (Kls)**; secara umum terdiri dari batuan malihan lemah-sedang, yaitu serpih, filit, rijang, marmer, kuarsit dan breksi terkarsikan, diterobos oleh batuan beku menengah sampai basa, berumur Kapur Akhir. **Formasi Toraja (Tet)**; terdiri dari perselingan batupasir kuarsa, serpih dan batulanau sisipan konglomerat, kuarsa, batulempung karbonan, batugamping, napal dan batubara.

**Formasi Toraja, Anggota Rantepau (Tetr)**: batugamping numulit dan batugamping terhablur ulang, sebagian tergerus. **Formasi Loka (Tml)**; batuan epiklastik gunungapi terdiri dari batupasir andesitan, batulanau, konglomerat dan breksi. Berlapis hingga massif. **Formasi Sekala (Tmps)**; terdiri dari batupasir hijau, greywake, napal, batulempung dan tuf, sisipan lava andesitik-basaltik. **Batuan Gunungapi Talaya (Tmtv)** ; breksi gunungapi, tuf dan lava andesitik-basaltik, dengan sisipan batupasir. **Tuf Berofa (Tmb)** ; perselingan tuf dan batupasir tufan bersisipan breksi gunungapi dan batupasir wake. **Batuan Gunungapi Adang (Tma)** ; terdiri dari tuf, lava dan breksi gunungapi, terutama berkomposisi leusit-basalt sebagian mikaan. **Formasi Mamuju (Tmm)**; terdiri dari napal,

kalkarenit, batugamping koral bersisipan tuf dan batupasir setempat konglomerat. **Formasi Mamuju, Anggota Tapalang (Tmmt)**; terdiri dari batugamping terumbu, batugampingan kepingan dan napal. **Batuan Terobosan (Tmpi)**; terdiri dari granit, granodiorit, riolit, diorit dan apilit. **Formasi Budong-Budong (Qb)**; terdiri dari konglomerat dan batupasir setempat dengan sisipan bayugamping dan batulanau. **Endapan Danau (QI)**; terdiri dari lempung, pasir, dan kerikil.



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional (Ratman dan Atmawinata,1993).

## B. Logam Tanah Jarang

Secara alami UTJ tidak dijumpai sebagai logam natif seperti emas, tembaga dan perak karena reaktivitasnya, tetapi dijumpai bersama-sama dalam banyak mineral bijih / aksesori sebagai konstituen utama atau minor. Meskipun UTJ ditemukan dalam berbagai mineral, termasuk silikat, karbonat, oksida, dan fosfat, pada dasarnya sifat fisik dan kimia dari UTJ tidak sesuai dengan struktur mineral secara umum dan hanya dapat ditemukan di beberapa lingkungan geologi. Sumber mineral utama yang mengandung UTJ dengan nilai ekonomi tinggi adalah bastnaesit, monasit, *eudialyte* dan loparit dan mineral lempung hasil dari proses penyerapan ion pada hasil pelapukan batuan (*lateritic ion-absorption clays*).

Meskipun UTJ relatif melimpah di kerak bumi, tidak seperti kebanyakan logam lainnya, UTJ jarang terkonsentrasi dalam endapan bijih yang dapat ditambang. Kondisi inilah yang membuatnya disebut dengan unsur tanah jarang. Potensi endapan UTJ dapat dibagi menjadi endapan primer dan sekunder. Endapan primer adalah endapan yang terbentuk oleh proses magmatik, hidrotermal, dan/atau metamorf. Endapan ini paling sering berasosiasi dengan batuan beku alkali dan *carbonatites*, termasuk pada lingkungan tektonik yang sifatnya ekstensional. Endapan sekunder adalah endapan yang terbentuk akibat erosi dan pelapukan dan termasuk *placer*, laterit dan bauksit. Dalam dua kelompok ini, endapan UTJ dapat dibagi lagi berdasarkan asosiasi genetik, mineralogi, dan bentuk keterdapatan. Karena endapan UTJ

terbentuk dalam berbagai lingkungan geologi, relatif rumit untuk mengklasifikasikan ke dalam kategori masing masing. Lokasi keterdapatan UTJ di dunia tersebar di beberapa daerah dengan lingkungan geologi yang berbeda. Tabel 2.1 memperlihatkan lokasi-lokasi utama di dunia dimana UTJ dihasilkan.

No.	Nama Lokasi	Tipe Endapan	No.	Nama Lokasi	Tipe Endapan
1	Bayan Obo, China	Fe-REE-Nb endapan	11	Orissa, India	Monazite by-product, coastal placers
2	Weishan, China	Bastnasite-barite veins	12	Eneabba, Australia	Monazite by-product, coastal placers
3	Maoniuping, China	Bastnasite-barite veins	13	Capel and Yoganup, Australia	Monazite by-product, coastal placers
4	Xunwu and Longnan, China	Lateritic clay	14	Mount Weld, Australia	Lateritized carbonatite
5	Chavara, India	Monazite by-product, coastal placers	15	Dubbo, Australia	Altered alkaline complex
6	Perak, Malaysia	Xenotime by-product, tin placers	16	North Stradboke Island, Australia	Monazite by-product, coastal placers
7	Mountain Pass, USA	Bastnasite-barite carbonatite	17	Elliot Lake, Canada	Uraniferous conglomerate
8	Lovozero, Russia	Loparite in peralkaline complex	18	Green Cove Springs, USA	Monazite by-product, placer
9	Aktyus, Kyrgyzstan	Polymetallic endapan	19	Camaratuba, Brazil	Monazite by-product, coastal placers
10	Northern Sri Lanka	Monazite by-product, coastal placers	20	Steenkampskraal, South Africa	Monazite-apatite vein

Tabel 2.1. Lokasi keterdapatan tambang UTJ di dunia beserta tipe endapannya

## B.1 Pengertian dan Sejarah Logam Tanah Jarang

Logam Tanah Jarang (*Rare Earth Elements*) adalah sekelompok tujuh belas unsur kimia yang terdapat pada tabel periodik yang terdiri dari itrium dan 15 unsur lantanida (lantanum, serium, praseodimium, neodimium, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, disprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, dan lutetium). Khusus untuk Skandium (Sc) umumnya dijumpai sebagai endapan berskala besar dan kadang dimasukkan diklasifikasikan sebagai Logam tanah jarang (<https://geology.com/articles/rare-earth-elements/>).

**Rare Earth Elements**  
by Geology.com

H																	He				
Li	Be															B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg															Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe				
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn				
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt													
Lanthanides																					
La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu																					
Actinides																					
Ac Th Pa U Np Pu Am Cm Bk Cf Es Fm Md No Lr																					

Gambar 2.2. Tabel periodic LTJ, merupakan kelompok 15 unsur lantanida ditambah itrium dan scandium.

Logam tanah jarang diklasifikasikan ke dalam dua kelompok (Maulana, 2021) yaitu sebagai berikut :

1. Logam tanah jarang yang ringan atau *light rare earth element* (LREEs), yaitu unsur lanthanum (La) sampai europium (Eu) (Z=57 hingga 63);
2. Logam tanah jarang yang berat atau *heavy rare earth element* (HREEs), yaitu unsur gadolinium (Ga) sampai lutetium (Lu) (Z=64 hingga 71). Adapun yttrium (Y) yang merupakan LTJ palingan ringan, biasanya dikelompokkan dengan HREEs berdasarkan kesamaan sifat kimia dan fisik.

Kelompok unsur tanah jarang lebih dikenal dengan istilah logam tanah jarang. Berdasarkan pasal 27A Undang Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan Atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009

Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, Logam Tanah Jarang atau yang dikenal dengan singkatan LTJ termasuk golongan mineral logam.

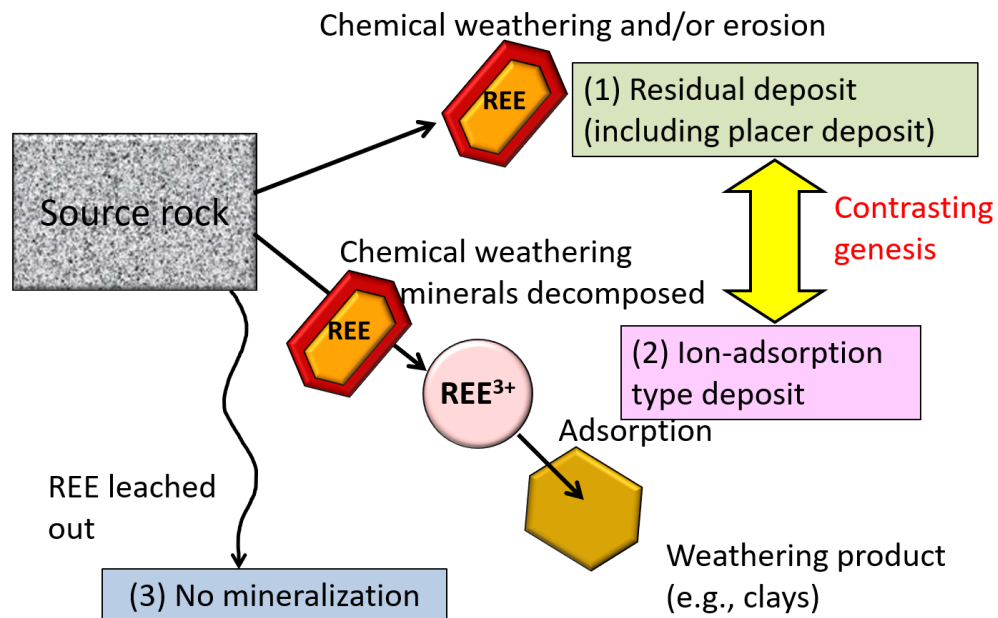
Kelompok logam tanah jarang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1787 oleh seorang letnan angkatan bersenjata Swedia bernama Karl Axel Arrhenius, dengan mengumpulkan mineral ytterbite dari tambang feldspar dan kuarsa di dekat Desa Ytterby, Swedia. Mineral tersebut berhasil dipisahkan oleh J. Gadoli pada tahun 1794. Pada Tahun 1804 Klaproth dan timnya menemukan ceria yang merupakan bentuk oksida dari cerium. Tahun 1828, Berzelius menemukan thoria dari mineral thorit. Tahun 1842 Mosander memisahkan senyawa bernama yttria menjadi tiga macam unsur melalui pengendapan fraksional menggunakan asam oksalat dan hidroksida, unsur-unsur tersebut yttria, terbia, dan erbia. Pada tahun 1878 Boisbaudran menemukan samarium. Tahun 1885, Welsbach memisahkan praseodymium dan neodmium yang terdapat pada samarium. Boisbaudran tahun 1886 mendapatkan gadolinium dari mineral ytterbia yang diperoleh J.C.G de Marignac tahun 1880. Ytterbia yang diperoleh Marignac, pada tahun 1907 mampu dipisahkan oleh L de Boisbaudran menjadi neoytterium dan lutecium. P.T. Cleve memisahkan tiga unsur dari erbia dan terbia yang dimiliki Marignac, diperoleh erbium, holminium dan thalium, sementara L de Boisbaudran memperoleh unsur lain dinamai dysprosia (<http://minerals.usgs.gov>.)

## B.2 Genesa Pembentukan Logam Tanah Jarang

Endapan bijih UTJ dijumpai dalam berbagai macam lingkungan geologi. Secara umum, para ahli mengklasifikasikan endapan UTJ ke dalam dua kategori umum, yaitu *primary ore* atau bijih primer dan *secondary ore* atau bijih sekunder. Bijih primer adalah bijih yang terkonsentrasi pada batuan beku yang mengandung UTJ dalam jumlah yang sangat besar yang dihasilkan dari proses *partial melting* dan atau *fractional crystallization* dari magma, atau konsentrasi UTJ akibat dari adanya proses hidrotermal. Bijih sekunder merupakan bijih yang terkonsentrasi akibat proses sedimentasi dan erosi (*placer*), proses *ion absorption type* dan proses substitusi. Proses *ion absorption type* dan substitusi merupakan proses yang terjadi pada endapan-endapan yang terbentuk akibat proses pelapukan seperti halnya endapan laterit. Pembagian endapan yang mengandung UTJ dapat dilihat pada gambar 2.3, dimana endapan UTJ dibagi menjadi endapan *placer* dan endapan laterit dengan jenis *ion adsorption clay* yang berasal dari hasil pelapukan batuan granit (Maulana dkk., 2016).

Namun, keberadaan UTJ dengan jumlah yang besar di beberapa jenis batuan membuat klasifikasi endapan UTJ harus direvisi dan sangat dimungkinkan adanya penambahan. Seperti contoh jumlah UTJ yang signifikan yang dijumpai dalam batubara dan sedimen laut membuat sumber UTJ dari kedua jenis endapan ini akan sangat menjanjikan dimasa yang akan datang.

## Weathering REE deposits



Gambar 2.3 Penggolongan endapan bijih tipe sekunder dari UTJ (Maulana dkk., 2016).

Berangkat dari hal tersebut, dalam buku ini endapan UTJ dibagi dalam beberapa kategori, yaitu antara lain;

- (1) Endapan bijih besi,
- (2) Endapan tipe karbonatit,
- (3) Endapan batuan beku alkalin & pegmatite,
- (4) Endapan laterite,
- (5) Endapan *placer* mineral berat,
- (6) Endapan tipe vein,
- (7) Endapan sedimen pada kontinen dan sedimen dasar laut,
- (8) Endapan lainnya



Masing-masing jenis endapan akan lebih detail dibahas sebagai berikut.

### **1. Endapan UTJ yang berasosiasi dengan bijih besi**

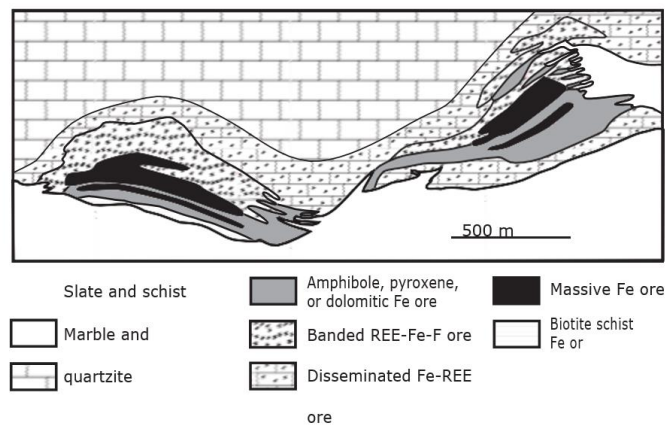
Beberapa endapan bijih besi diketahui mengandung UTJ, dan salah satu jenis endapan ini dieksploitasi di satu area yang sangat luas yaitu daerah Bayan Obo, Cina. Bayan Obo merupakan sumber UTJ terbesar yang diketahui di dunia (Tabel 2.1) dan sekarang merupakan sumber UTJ paling penting di dunia (Maulana, 2021). Bijih UTJ terdiri dari tiga jenis utama yaitu; 1) UTJ-bijih besi, tipe yang paling utama; 2) Bijih UTJ dalam batuan silikat; dan 3) Bijih UTJ dalam dolomit. Bijih UTJ besi - masif dijumpai pada ketebalan 100 m dalam bentuk lensa dengan struktur *banded* dan breksi. Bijih UTJ-besi *banded* yang kaya akan fluorit memiliki kandungan UTJ tertinggi, secara lokal lebih dari 10% bijih UTJ. Bijih Bayan Obo kaya akan UTJ yang ringan tanpa anomali europium dan strontium rendah ( $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ ). *Alkali-rich alteration* (fenitisasi), didominasi oleh amfibol sodik dan K-feldspar, dikaitkan dengan mineralisasi UTJ (Maulana, 2021).

Peneliti-peneliti sepakat bahwa mineralisasi Fe-UTJ-Nb di Bayan Obo berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Penelitian terbaru menunjukkan pembentukan bijih terjadi selama proses penggantian hidrotermal dolomit sedimen, seperti berikut:

- Alkaline atau magmatisme karbonat (Drew, Meng, dan Sun 1990; Campbell dan Henderson 1997; Smith dan Henderson 2000;

Smith, Henderson, dan Campbell 2000)

- *Emplacement host* dolomit dan bijih sebagai batuan beku karbonatan dengan deformasi tektonik berikutnya (Le Bas, Spiro, dan Yang 1997)
- Pembentukan *host* dan bijih melalui *marine exhalation* dari alkali atau fluida-fluida karbonatan.



Gambar 2.4 Penampang geologi dari bijih endapan UTJ di Bayan Obo, China

## 2. Endapan Karbonatit

Karbonatit adalah jenis batuan beku yang disusun oleh hampir 50% mineral karbonat dan kurang dari 20 wt% silika. Batuan ini berasal dari magma yang bersifat alkalin yang kaya akan karbonat dan dijumpai dalam bentuk batuan beku ekstrusif maupun intrusif. Pada umumnya jenis batuan ini didapatkan pada lingkungan kontinen (88% pada perisai benua dan 15% pada non perisai) pada batuan yang berumur dari *Archean* sampai proterozoikum atau pada batuan berumur fanerozoikum yang

dialasi oleh basement Precambrian. Batuan karbonatit yang kemudian mengalami proses hidrotermal akan mengandung konsentrasi UTJ yang lebih tinggi daripada batuan segarnya, yang akan membentuk *flourocarbonate-*, *ancylite-*, atau monasit dengan nilai ekonomis. Namun, karbonatit yang paling banyak dijumpai mengandung logam UTJ yang tinggi adalah yang berasosiasi dengan tubuh intrusi batuan beku yang jenuh silika seperti granit-sienit dan juga sering dengan sienit leusit. Jenis UTJ yang dominan pada endapan ini yaitu UTJ ringan, namun di beberapa lokasi dijumpai UTJ berat terutama dibagian batuan yang mengalami proses hidrotermal.

### **3. Endapan UTJ pada batuan beku alkalin**

Batuan beku alkalin terbentuk dari proses *partial melting* batuan mantel inti, yang kemudian naik dan mendingin di dalam kerak bumi. Biasanya, magma alkalin tidak hanya kaya dalam UTJ tetapi juga Zr, Nb, Sr, Ba, dan Li. Ketika magma naik dari dapur magma, terjadi perubahan kimiawi sebagai respons terhadap interaksi faktor-faktor yang kompleks seperti suhu, tekanan, dan sifat kimia batuan di sekitarnya. Interaksi yang kompleks ini menghasilkan pembentukan sejumlah besar endapan UTJ (Maulana, 2021). *Host* berupa batuan yang dibedakan mulai dari *nepheline syenites* dan *trachytes* hingga granit peralkalin. Kompleks ini biasanya terbentuk dalam lingkungan tektonik lempeng benua yang berasosiasi dengan *rifting*, patahan, atau magmatisme *hotspot*. Mineralisasi UTJ juga ditemukan di kompleks alkali yang berlapis, tubuh

intrusi granit, dan *late-stage dike*. Contoh-contoh endapan UTJ yang berasosiasi dengan batuan beku alkalin termasuk Mountain Pass, California; Bayan Obo China; dan Ytterby, Swedia.

Meskipun banyak endapan UTJ dijumpai pada batuan beku peralkalin dengan cadangan yang besar, sebagian besar endapan tersebut relatif berkadar rendah, dan hanya satu endapan di Rusia yang telah ditambang. Endapan peralkaline yang mengandung UTJ biasanya kaya akan itrium, UTJ berat, dan zirkonium. Pengembangan endapan tersebut di masa depan akan sangat tergantung pada kebutuhan pasar dan teknologi pemisahan dan pemurniannya. Loparit yang merupakan mineral mengandung UTJ terutama Ce telah ditambang selama sekitar 50 tahun dari *nepheline syenites* dalam tubuh batuan peralkalin Lovozero yang berumur Paleozoic di Semenanjung Kola di Rusia. Tubuh batuan tersebut dijumpai dalam keadaan berlapis dan terdiri dari empat satuan batuan (Maulana, 2021). 30% bagian atas dari tubuh tersebut merupakan batuan jenis *syenite* yang mengandung mineral *eudialyte*. Bagian bawah dari loparit terdiri dari 65% lapisan berselang seling antara nefelinit, *nefeline syenit*, dan batuan asosiasinya dengan ketebalan sekitar 1000 m. *Syenit* hadir sebagai intrusi yang relatif kecil, dan *late dike* mafik jarang dijumpai. Mineral pembentuk batuan utama adalah *nefeline* dan *aegirine* dengan aksesoris berupa *arfvedsonite*, *hydrosodalite*, *natrolite*, dan *sodalite*. Loparit sebagian besar muncul sebagai butiran dengan ukuran 0,2

hingga 0,6 mm dan jarang dijumpai sebagai kristal yang lebih besar (Maulana, 2021).

Loparit sendiri kaya pada daerah dengan tingkat diferensiasi tinggi dan pada batuan yang kaya akan *nepheline*. Hal ini ditemukan terutama pada batuan porfiritik dengan konsentrasi pada *feldspar-aegerine*, *juvite*, dan *malignit*. Bijih ditemukan pada zona *banded* setebal beberapa sentimeter hingga beberapa meter, *grade* 2% hingga 3% loparit (Maulana, 2021). Loparit mengandung 38,5% titanium oksida, 30% hingga 36 bijih UTJ, dan 10% hingga 12% niobium dan tantalum oksida.

Eksplorasi untuk endapan UTJ yang kaya akan itrium mengarah pada penemuan sumber yang didominasi zirkonium dan UTJ berat yang berasosiasi dengan batuan syenitik dan batuan granitik peralkaline dan berasosiasi dengan berilium, niobium, dan tantalum. Sumber dari jenis batuan ini mempunyai cadangan yang besar tetapi memiliki konten UTJ yang rendah dibandingkan dengan endapan komersial dan jenis UTJ didominasi oleh UTJ ringan.

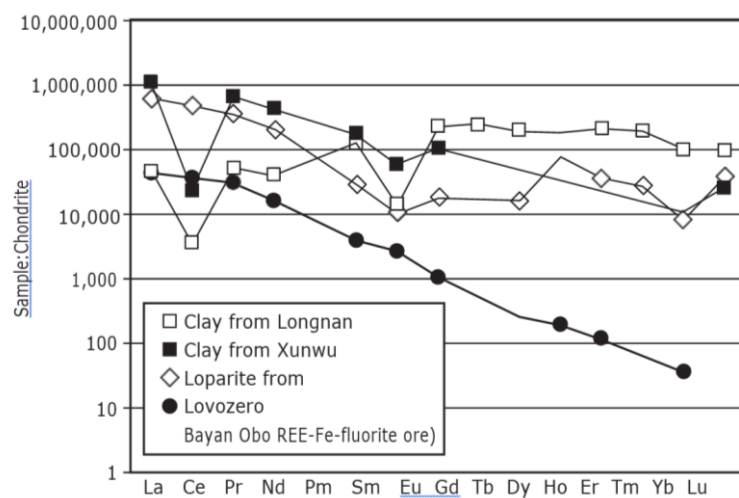
#### **4. Endapan Laterit**

Endapan laterit dijumpai pada sumber primer seperti karbonatit dan syenit yang telah dipelajari sebagai sumber potensial UTJ sejak 1980-an. Tipe endapan tersebut memungkinkan dijumpainya sumber dengan cadangan yang besar dan beberapa mengandung UTJ yang tinggi. Salah satu proses laterisasi yang sangat penting disebut dengan proses *ion adsorption type*.

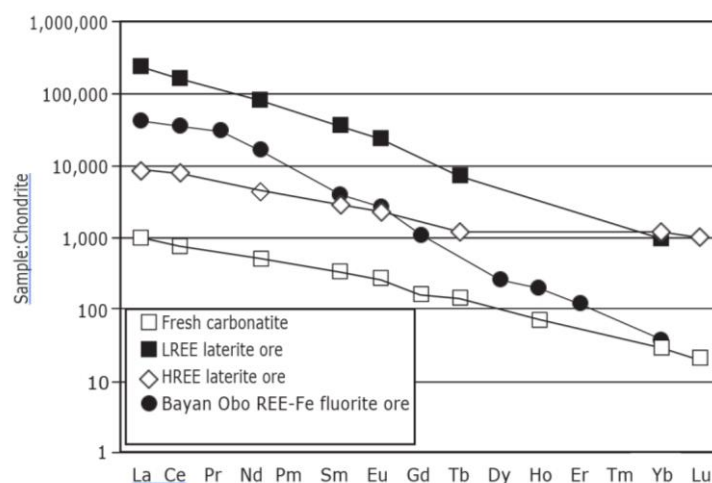
Proses *ion adsorption* type dijumpai di China bagian selatan (Chi & Tian, 2008). *Ion adsorption type* merupakan salah satu mekanisme konsentrasi UTJ yang saat ini banyak dieksplorasi. Proses ini terbentuk akibat adanya proses pencucian atau *leaching* UTJ dari batuan beku yang kemudian menempati tempat pada lempung di lapisan hasil pelapukan batuan tersebut. UTJ dijumpai pada profil laterit yang kaya akan lempung yang menempel pada permukaan kaolinit, halosit, dan smektit atau sebagai fase UTJ sekunder terutama pada mineral fosfat.

Proses pembentukan bijih UTJ terutama *scandium* (Sc) juga dapat terbentuk melalui proses substitusi  $Fe^{3+}$  dari mineral-mineral mafik seperti goetit, piroksin dan amfibol pada saat proses laterisasi. Reaksi substitusi ini terjadi pada lapisan limonit di profil hasil pelapukan batuan ultrabasa. Maulana, dkk (2016) melaporkan bahwa kandungan Sc pada lapisan limonit lebih tinggi sekitar 5-10 kali lipat dari batuan segarnya (*fresh rock*) pada endapan laterit di Soroako. Faktor yang menyebabkan terjadinya konsentrasi Sc pada endapan laterit dapat dibagi menjadi tiga yaitu (a) batuan asal yang mengandung Sc dalam jumlah yang besar, (b) lama proses laterisasi berlangsung dalam kondisi lingkungan tektonik yang stabil dan (c) kondisi lateritisasi selama proses pelapukan dimana Sc akan mengganti oksida Fe. Proses pengayaan *scandium* pada beberapa profil laterit hasil pelapukan batuan ultramafik yang ada di Sulawesi dapat dilihat pada gambar 2.5.

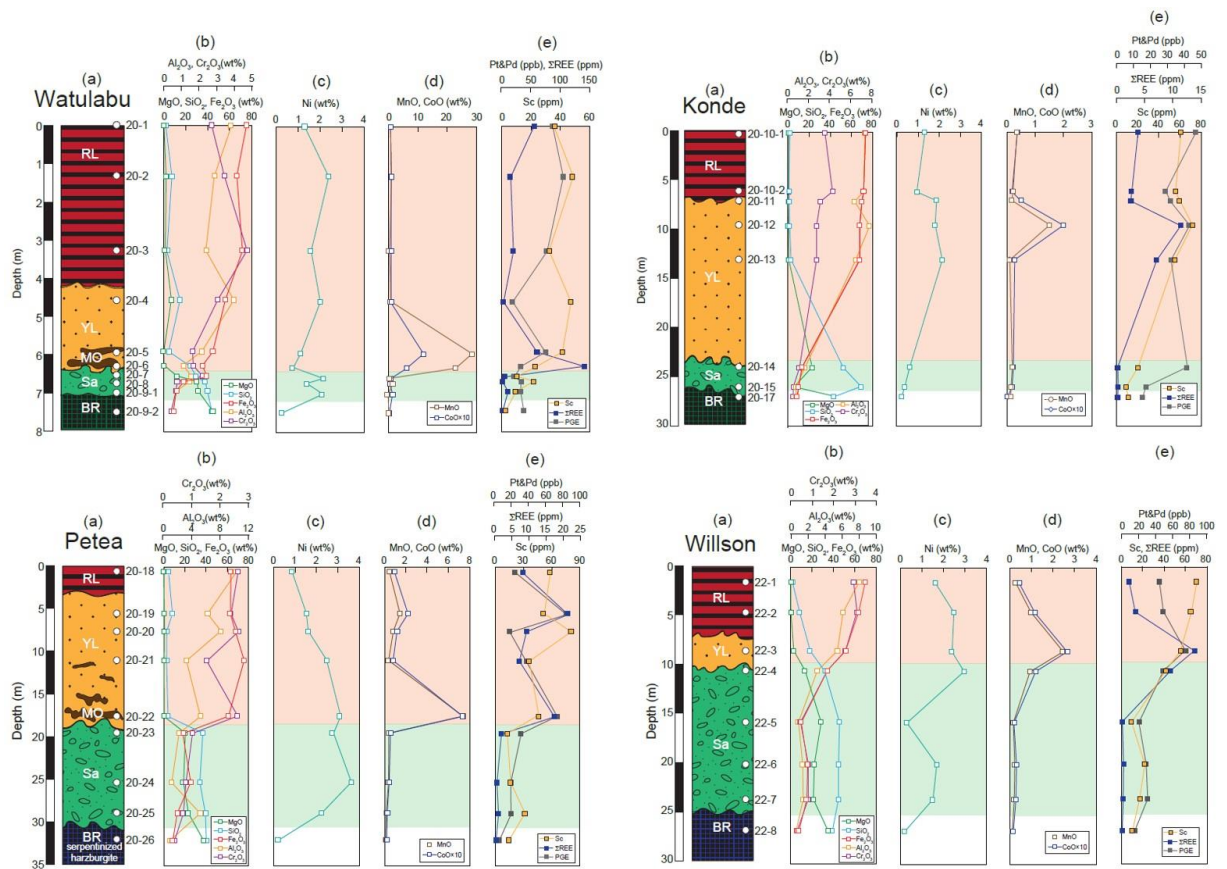
Selain dari hasil pelapukan laterit dari batuan ultrabasa yang mengandung nikel laterit, Sc juga dihasilkan dari beberapa endapan sekunder lainnya, yaitu diantaranya endapan Ti di Panzhih, Cina; endapan uranium-besi di Zhovti Body Ukraina; endapan laterit di Bayan Obo, Cina; dan juga di Kola Peninsula, Rusia. Tabel 2.5 dibawah ini menunjukkan daftar lokasi dimana scandium dijumpai.



Gambar 2.5 Distribusi UTJ yang di normalisasikan dengan komposisi chondrite dari bijih UTJ hasil *ion adsorption clay* di China



Gambar 2.6 Distribusi UTJ yang dinormalisasikan dengan komposisi chondrite pada laterit dan karbonatit dari Mount Weld di Australia



Gambar 2.7 Profil endapan nikel laterit yang mengandung scandium dari Sulawesi, Indonesia (Akane, dkk. 2020)

Tabel 2.2 Tipe endapan yang mengandung scandium

Deposit type	Sc grade	Sc resource
Lateritic Ni	Medium-High	Large
Ultramafic Ti	Medium-High	Large
Bauxite	Medium	Moderate
Placer Ti	Medium	Small
Greisen Sn-W	Medium	Small
Sedimentary U	Medium	Moderate-Large
Carbonatite-type REE	Medium	Moderate
Apatite	Medium	Moderate
Pegmatite-type Ta	Medium-High	Small



## 5. Endapan *Placer*

Jenis endapan yang mengandung mineral pembawa UTJ juga ditemukan dalam endapan *placer* atau endapan hasil pengendapan. Jenis endapan *placer* terbentuk dari hasil proses pelapukan batuan yang kaya akan UTJ yang kemudian tererosi dan terendapkan diberbagai cekungan pengendapan seperti di lembah, sungai dan di pantai. Proses erosi mengkonsentrasikan mineral-mineral berat kedalam cekungan yang disebut dengan *placer*. Apabila batuan induk yang mengalami proses erosi tersebut mengandung mineral yang kaya akan UTJ seperti monasit, zirkon dan *xenotime* maka bisa dipastikan mineral-mineral ini akan terkonsentrasi secara mekanik dengan mineral berat lainnya seperti ilmenit dan timah. Endapan tipe ini dijumpai di beberapa deposit terutama pada sedimen pasir seperti di Pulau Bangka, Indonesia dan di Malaysia.

Kebanyakan akumulasi *placer* dengan sejumlah besar mineral UTJ merupakan yang terbentuk pada waktu Tersier atau Kuarter yang asalnya dari daerah dengan komposisi batuan granitik atau batuan metamorf tingkat tinggi. Namun, endapan *paleo-placer* atau *placer* purba dengan umur Precambrian juga dapat mengandung sumber daya UTJ. Monazite [(Ce, Th) PO<sub>4</sub>], mineral aksesori yang mengandung UTJ pada batuan beku, metamorf, dan sedimen, dapat terkonsentrasi dengan mineral berat lainnya dalam endapan *placer*. Monasit adalah bijih UTJ yang penting dan sebagian besar cadangan bijih monasit merupakan sumber daya UTJ yang layak secara

ekonomi. Monasit mengandung *cerium* (Ce) serta UTJ ringan, namun UTJ berat seperti Tb, Dy, dan Gd cenderung lebih jarang, lebih kecil, dan kurang terkonsentrasi.

## **6. Endapan urat (*vein*)**

Endapan UTJ dalam tipe urat atau *vein* biasanya mempunyai volume yang lebih kecil dibandingkan dengan endapan pada batuan sumbernya. Tipe endapan urat yang di jumpai di Maoniuping, yang merupakan endapan UTJ terbesar kedua di Cina (Maulana, 2021), terdiri dari sekumpulan urat dan *veinlet* yang berukuran panjang 1.000 m dan lebar 20 m dengan kandungan sekitar 2% REOs. Mineral bijihnya merupakan bastnasite dengan butir yang kasar. Mineral UTJ lainnya termasuk *chevkinite*, *xenotime*, *britholite*, *allanite*, dan *monazite*. Mineral *gangue* yang dijumpai adalah barit, kalsit, kuarsa, fluorit, feldspars, aegerine-augite, dan mineral sulfida. Bijih di Weishan mine berupa urat berukuran ratusan meter dan lebar 1 m, dengan kandungan rata-rata 1,6% REO. Kumpulan mineral mirip dengan yang ada di Maoniuping tetapi juga mengandung dolomit, amfibol, thorit, mineral titanium, dan mineral niobium (Maulana, 2021).

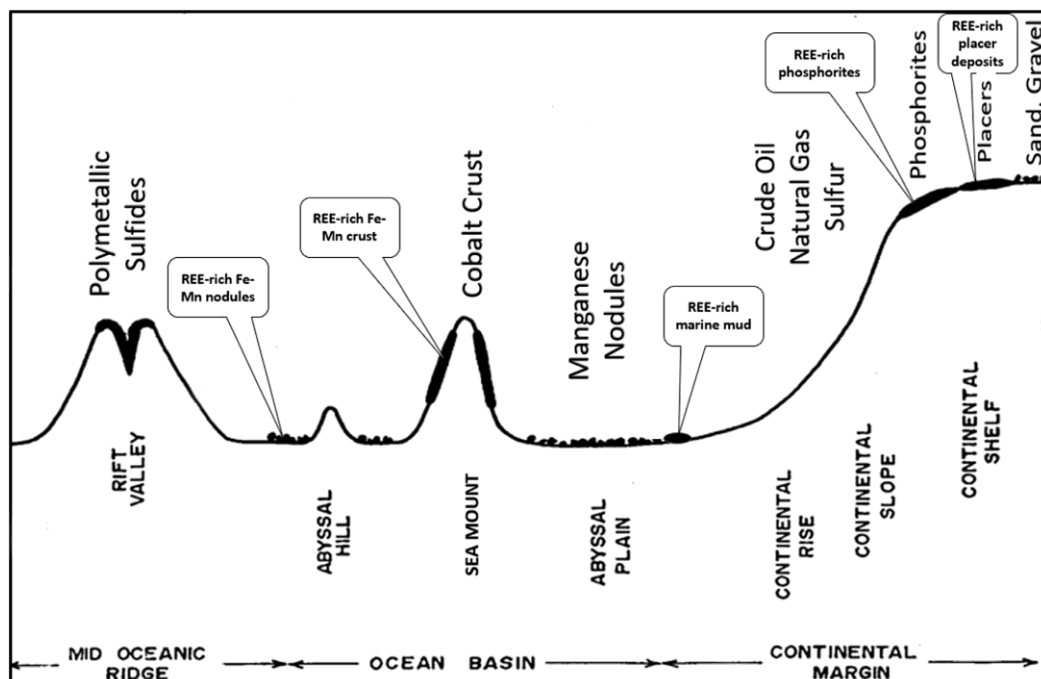
## **7. UTJ pada batubara, sedimen di paparan kontinen dan dasar laut**

Abu batubara, yang selama ini dianggap sebagai limbah, kini menjadi salah satu sumber UTJ yang menjanjikan (Maulana, 2021). Hal ini dikarenakan konsentrasi UTJ dalam banyak batubara atau abu batubara

sama atau lebih tinggi daripada yang ditemukan dalam bijih UTJ konvensional. Batubara sendiri pada umumnya terbentuk pada cekungan sedimen di lingkungan pengendapan darat sampai dengan transisi seperti sungai, delta dan danau.

Sumber daya mineral dari landasan kontinen mirip dengan yang ada di daratan. Mineral yang berasal dari hasil erosi dari daratan akan terkonsentrasi pada endapan *placer* di sepanjang pantai dan endapan *placer* tersebut dapat berada lebih jauh ke bagian *offshore*, menuju ke dasar laut. Landasan kontinen juga mengandung endapan fosfor (batuan fosfat) dalam jumlah besar, yang merupakan jenis batuan sedimen non-detrital sebagai sumber penting UTJ. Studi terbaru dari endapan fosfor laut mengungkapkan bahwa ada sejumlah besar UTJ yang terkandung dalam fosforit (Maulana, 2021). Endapan fosfor terbentuk sebagai endapan kimia di *continental shelf* pada kedalaman yang relatif lebih dangkal dibanding nodul mangan dan kobalt benua. Naiknya air dingin kaya akan fosfat menyebabkan pemanasan dan penurunan kelarutan, dan terendapkan. Proses pengayaan UTJ terjadi pada mineral francolite fosforit dimana UTJ menggantikan Ca dalam kisi francolite (Maulana, 2021). Beberapa endapan fosforit mengandung UTJ hingga 2000 mg/g, walaupun komposisi batuan ini sebagian besar tergantung pada jenis dan asalnya. Hal ini menunjukkan bahwa endapan fosforit merupakan sumber yang sangat potensial untuk UTJ dibanding endapan UTJ konvensional lainnya.

Pada dasarnya ada tiga jenis sumber daya UTJ di dasar laut dalam yaitu: nodul polimetalik, kerak ferromangan (kerak kobalt) dan lumpur laut dalam (Gambar. 2.8). Endapan nodul polimetalik terbentuk di dataran *abyssal* yang tertutup sedimen (pada kedalaman air 4500-6000 m) dan terjadi pada permukaan sedimen dasar laut, terutama di Samudra Pasifik dan Samudra Hindia (Maulana, 2021). Kerak kobalt (lebih tepatnya disebut sebagai kerak ferromanganes yang kaya kobalt) ditemukan di seluruh cekungan samudra pada *seamounts*, pematang, dan dataran *seamounts* dan singkapan batuan di dasar samudera (Gambar. 2.8).



Gambar 2.8. Keterdapatn nodul-nodul mangan, kerak kobalt (*cobalt crust*), lumpur laut (*marine mud*) dan fosforit pada cekungan laut, *seamounts* dan batas continental (*continental margin*).

## 8. Endapan lainnya

Beberapa akumulasi UTJ yang berbeda dengan jenis endapan yang telah dijelaskan diatas dijumpai di beberapa lokasi dan terbukti mengandung UTJ. Dalam beberapa tahun terakhir, endapan dekat Aktyus di Tien Shan Range, Kyrgyzstan memproduksi UTJ yang signifikan. Meskipun sampai saat ini hanya sedikit informasi tentang endapan ini, endapan tersebut terbukti mengandung beraneka ragam bijih dimana dan juga menghasilkan timbal, molibdenum, perak, dan bismuth. Kandungan bijih UTJ rata-rata sebesar 0,25%, dengan itrium dan UTJ berat membentuk 43,7% dari total UTJ. Endapannya sendiri terdiri dari dua tubuh stok yang mengandung *synchisite*- (Y), *bastnasite*, *monazite*, *xenotime*, dan zirkon.

Beberapa endapan fluorspar telah menghasilkan UTJ yang bersumber dari mineral yang pembawa UTJ atau dari UTJ yang menggantikan (substitusi) kalsium dalam fluorit. Sekitar 65 ton konsentrat bastnasit dihasilkan dari endapan fluorspar di Pegunungan Gallinas, New Mexico, pada 1950-an.

### B.3 Kegunaan Unsur Logam Tanah Jarang

Berikut ini adalah aplikasi dari masing-masing ke-17 unsur LTJ:

#### 1. Lanthanum (La)

Aplikasi: kamera, kapasitor, thermistor, katalis polimerisasi, baterai mobil *hybrid* dan *rechargeable*, aditif bahan bakar diesel, katalis *fluid cracking*, LCD TV, dan plasma TV.

## 2. Cerium (Ce)

Aplikasi: pengontrol radiasi tabung katoda, katalis pengurai, ubin, kapasitor, cat, bahan bakar (*organo-metallics*), baterai mobil *hybrid* dan *rechargeable*, aditif bahan bakar diesel, katalis *fluid cracking*, LCD TV, dan plasma TV.

## 3. Praseodymium (Pr)

Aplikasi: filter TV, katalis pengurai, ubin, elektrolit baterai suhu tinggi, magnet motor, katalis *fluid cracking*, LCD TV, dan plasma TV.

## 4. Neodymium (Nd)

Aplikasi: filter TV, laser, katalis pengurai, kapasitor, magnet permanen, magnet motor, katalis polimerisasi, kamera, baterai mobil *hybrid* dan *rechargeable*, aditif bahan bakar diesel, katalis *fluid cracking*, dan fiber optik.

## 5. Promethium (Pm)

Aplikasi: memori elektronik, *headphones*, magnet permanen, magnet motor, VTR *headphones*, *fuel-cell*, *air conditioner* (AC), pelapis logam (*coating*), dan keramik komponen elektrik.

## 6. Samarium (Sm)

Aplikasi: laser, *precision instruments*, dan magnet (motor listrik, *power steering* elektrik, *air conditioners*, *generator*, dan *hard disk*).

## 7. Europium (Eu)

Aplikasi: penghasil cahaya berwarna, monitor komputer, LCD TV, dan plasma TV.

#### 8. Gadolinium (Gd)

Aplikasi: monitor komputer, elektrolit baterai suhu tinggi, LCD TV, plasma TV, kamera digital, dan fiber optik.

#### 9. Terbium (Tb)

Aplikasi: penghasil cahaya berwarna, monitor komputer, magnet (motor listrik, *power steering* elektrik, *air conditioners*, *generator*, dan *hard disk*), LCD TV, dan plasma TV.

#### 10. Dysprosium (Dy)

Aplikasi: obat radio-nuklir (pengobatan arthritis pada lutut), magnet (motor listrik, *power steering* elektrik, *air conditioners*, *generator*, dan *hard disk*), LCD TV, dan plasma TV

#### 11. Holmium (Ho)

Aplikasi: memori elektronik, penyimpanan optik komputer, *headphones*, magnet permanen, magnet motor, VTR *headphones*, *fuel-cell*, *air conditioner* (AC), pelapis logam (*coating*), dan keramik komponen elektrik.

#### 12. Erbium (Er)

Aplikasi: filter TV, kamera digital, dan fiber optik

#### 13. Thulium (Tm)

Aplikasi: memori elektronik, *headphones*, magnet permanen, magnet motor, VTR *headphones*, *fuel-cell*, *air conditioner* (AC), pelapis logam (*coating*), dan keramik komponen elektrik.