

Busur Magmatik Granit Tantan-Nagan Sebagai Potensi REE Di Jambi

Yulia Morsa Said¹, Bagus Adhitya¹, Anggi Delliana Siregar¹, Hari Wiki Utama, Magdalena
Ritonga¹, Eko Kurniatoro¹

¹ Jurusan Teknik Geologi, Universitas Jambi
Email: bagusadhitya@unja.ac.id

Abstrak

REE (Rare Earth Element) atau unsur-unsur tanah jarang adalah mineral yang mengandung salah satu ataupun lebih unsur yang terdapat dalam kelompok 17 elemen kimia, kelompok ini terdiri dari kelompok kimia lanthanide (lanthanum, cerium, praseodymium, neodymium, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, and lutetium) ditambahkan dengan scandium dan yttrium. Pada era Industri 4.0 atau industri modern REE (Rare Earth Element) merupakan komoditi yang sangat strategis, pemanfaatan unsur tanah jarang sangat dibutuhkan dalam berbagai macam bidang mulai dari industri elektronik, telekomunikasi, industri transportasi modern dan masih banyak lagi.

Keterdapatan REE (Rare Earth Element) di Jambi-Sumatra terjadi sejak masa Mesozoikum Awal yaitu diawali dengan pembentukan Formasi Granit Tantan hingga masa Kenozoikum berupa pembentukan Formasi Granit Nagan. Lokasi penelitian berada di Sungai Manau, Kabupaten Merangin yang merupakan bagian dari busur magmatik Sunda yang tersusun oleh intrusi batuan plutonik granodiorit dengan xenolit berupa andesit, micro diorit dan diorit pada Formasi Tantan dan Intrusi batuan plutonik Granit, Granodiorit dan Adamelit pada Formasi Nagan. Hal ini dilakukan karena pembentukan endapan mineral unsur REE (Rare Earth Element) sangat berasosiasi dengan pendinginan batuan beku plutonik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi Geologi Daerah penelitian dan hubungannya terhadap keterdapatan REE (Rare Earth Element) dan mengetahui Potensi REE yang terdapat pada Formasi Tantan dan Formasi Nagan yang ada di Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi.

Kata kunci: Potensi, REE, Unsur Tanah Jarang.

Abstract

REE (Rare Earth Element) or Rare Earth Elements are minerals that contain one or more elements which contained in a group of 17 chemical elements, this group consists of the chemical group lanthanide (lanthanum, cerium, praseodymium, neodymium, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, and lutetium) are added with scandium and yttrium. In the era of Industry 4.0 or modern industry REE (Rare Earth Element) is a very strategic commodity, the use of rare earth elements is needed in various fields ranging from the electronics industry, telecommunications, modern transportation industry and many more.

The REE (Rare Earth Element) density in Jambi-Sumatra occurred since the Early Mesozoic period, which was preceded by the formation of the Tantan Granite Formation to the Cenozoic period in the form of the Nagan Granite Formation. The research location is in the Manau River, Merangin Regency which is part of the Sunda magmatic arc consists of intrusions granodiorite plutonic rock with xenolites in the form of andesites, micro diorites and diorites in the Tantan Formation, and in Nagan Formation consists of intrusion of granite, granodiorite and Adamelit rocks. It's happen because the forming process of REE (Rare Earth Element) mineral deposits is strongly associated with the cooling of plutonic igneous rocks.

The purpose of this study are to determine the geological condition of the study area and its relationship to the REE (Rare Earth Element) and to find the potential of REE contained in the Tantan Formation and Nagan Formation in Merangin District, Jambi Province.

Keywords: Potency, REE, Rare Earth Element.

1. PENDAHULUAN

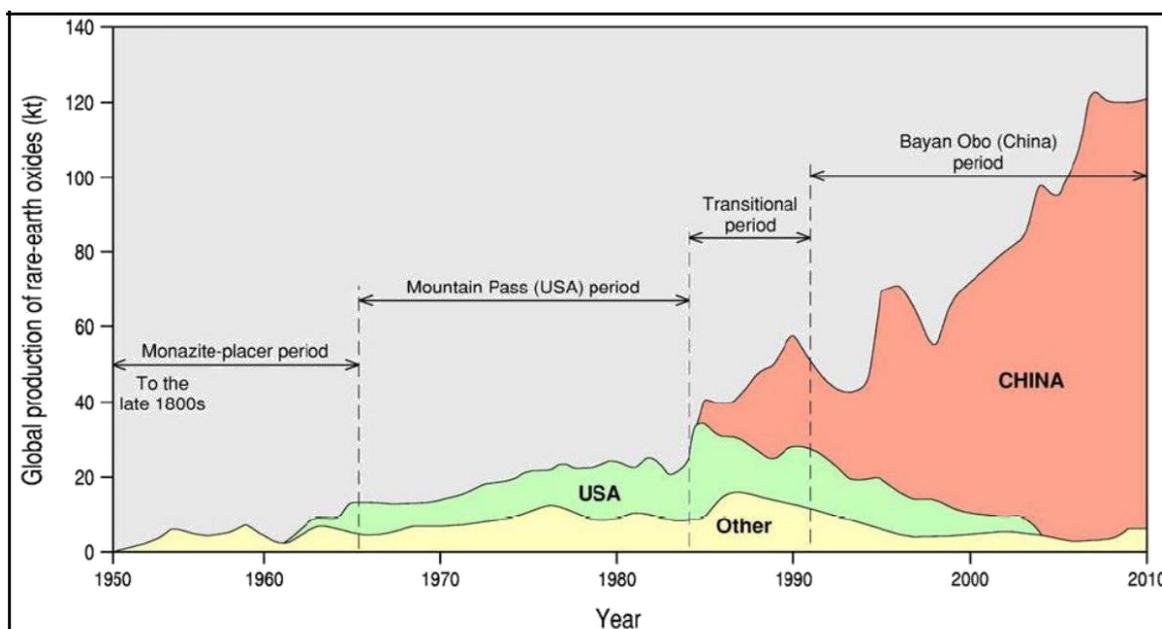
Sumatra merupakan salah satu wilayah bagian dari Kepulauan Indonesia dan secara regional bagian kepulauan di Asia Tenggara yang memiliki kondisi geologi dan evolusi tektonik yang masih

menjadi suatu teka teki [1][2]. Menurut Carlile dan Mitchell [3], kepulauan Indonesia terdiri dari busur magmatik yang membentuk segmen-segmen dan berasosiasi terhadap keterdapatan endapan mineral yang mengandung unsur tanah jarang (Rare Earth Element), salah satunya Busur Sunda, Sumatra.

Proses pembentukan endapan mineral di Jambi-Sumatra terjadi sejak Mesozoikum Awal yaitu dengan pembentukan Formasi Granit Tantan hingga Kenozoikum Formasi Granit Nagan [4]. Sungai Manau merupakan bagian dari busur magmatik Sunda yang disusun oleh batuan plutonik granit Formasi Granit Tantan hingga Busur Magmatik Eosen Nagan. Pembentukan endapan mineral unsur REE sangat berasosiasi dengan pendinginan batuan beku plutonik [5].

Unsur-unsur tanah jarang cenderung terbentuk secara alamiah sebagai gabungan dari sebagian unsur-unsur tanah jarang tertentu. Unsur unsur ini termasuk ke dalam kelompok litofil, yang terkonsentrasi terutama dalam fase silikat dibandingkan dengan fase logam atau sulfida, tetapi juga mempunyai kecenderungan terdispersi sejak pembentukannya sebagai jejak di dalam mineral. Permintaan unsur-unsur tanah jarang didasarkan pada pertimbangan kebutuhan sektor industri yang terdiri atas katalis minyak bumi dan pemecah kompleks susunan kimia, metalurgi, keramik dan gelas; pengembangan magnet, listrik, dan penelitian lainnya [5].

Permintaan akan tingginya REE membuat penelitian sumber daya mineral saat ini lebih mengarah kepada menemukan sumber daya tersebut. Kondisi cadangan yang masih sangat terbatas, sumber daya yang ditemukan relatif sedikit tidak sebanding dengan kebutuhan terhadap REE. Indonesia sendiri merupakan salah satu negara paling sedikit cadangan REE yang teridentifikasi, padahal kebutuhan akan hal itu sangat tinggi. China, USA merupakan negara penyuplai paling tinggi [6] (Gambar 1).



Gambar 1. Negara dengan penyuplai REE tertinggi di dunia oleh Haston, dkk [6]

Langkanya sumber daya REE merupakan permasalahan yang akan dikontribusikan di dalam penelitian ini. Kondisi geologi, menemukan karakteristik batuan pada busur magmatik merupakan salah satu permasalahan yang akan dilakukan. Keterdapatan dan kelimpahan unsur REE sangat memungkinkan hadir pada batuan-batuan busur magmatik. Selain karena belum ada penelitian tentang REE di daerah penelitian Tujuan dilakukannya penelitian ini juga sangat berguna untuk mengetahui kondisi geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi dan hubungannya terhadap keterdapatan sumber daya REE. Menginterpretasi kontrol geologi pembentukan dari REE dan asosiasinya terhadap busur magmatik.

1.1. Geologi Regional

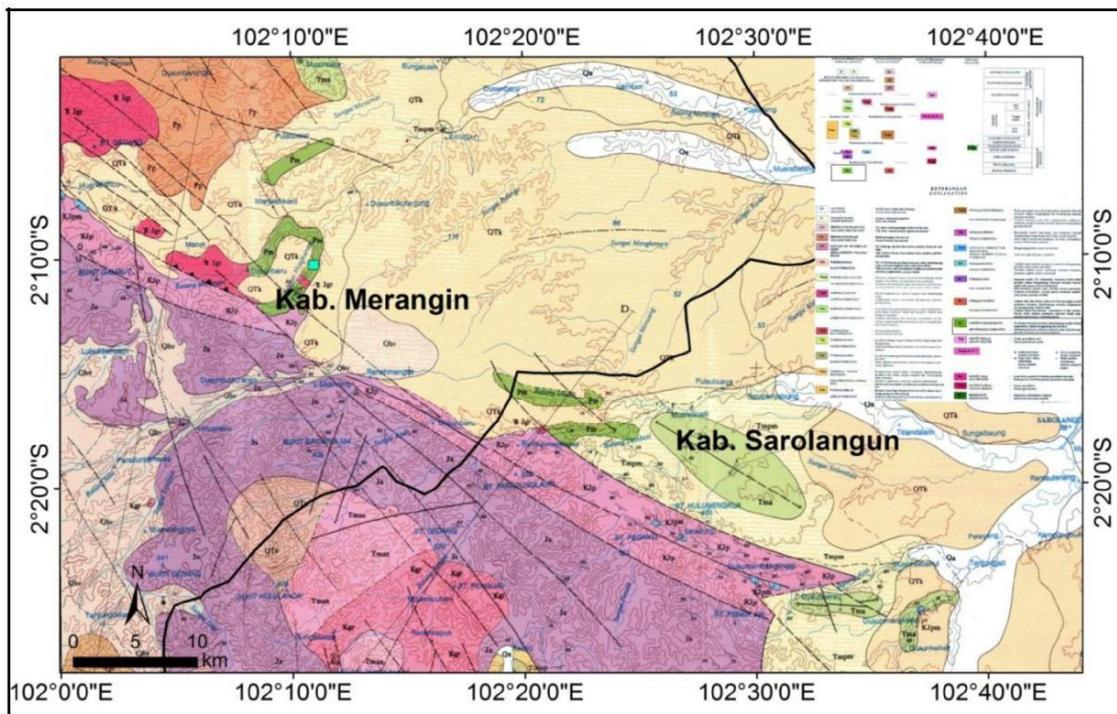
Tektonik. Kondisi tektonik Sumatera saat ini merupakan rangkaian dari evolusi Pulau Sumatera sebagai hasil subduksi dari batas lempeng Samudera Hindia yang menunjam di bawah lempeng Benua Eurasia pada Masa Kenozoikum yang diperkirakan telah menyebabkan terjadinya rotasi dari Pulau Sumatera dengan orientasi arah perputaran searah jarum jam [7][8]. Orientasi Pulau Sumatera ini yang pada awalnya berarah barat-timur menjadi baratlaut-tenggara [2]. Perubahan deformasi Pulau Sumatera

yang mengalami rotasi terjadi pada Kala Oligo-Miosen yang berhungan dengan pembentukan basement dan stratigrafi Perbukitan Barisan sebagai batuan dasar [9]. Deformasi ini menyebabkan terjadinya pergerakan sesar Sumatera yang mulai aktif pada kala tersebut.

Suwarna dkk [4] dan Carlile dan Mitchell [3], Sungai Manau merupakan rangkain dari busur magmatik yang berumur Trias hingga Eosen dan merupakan bagian dari Busur Sunda. Karakteristik Busur Sunda merupakan busur terpanjang di Indonesia, magmatisme dan keterdapatan mineral beroasisasi dengan busur ini.

Stratigrafi. Stratigrafi daerah penelitian yang merupakan kedalam peta geologi regional Lembar Sarolangun-Bangko skala 1:250.000 oleh Suwarna, dkk [4]. Secara administratif termasuk kedalam Kabupaten Merangin dan Sarolangun.

Stratigrafi batuan dikombinasikan pada karakter batuan penyusun. Berdasarkan data tersebut setidaknya secara umum Mengkarang dan sekitarnya disusun oleh batuan dari Formasi Mengkarang berumur Permian (Pm), Intrusi Granit Tantan (Trjgdt) berumur Trias, dan Formasi batuan yang paling muda Formasi Kasai (QTK) berumur Plio-Plistosen yang didominasi oleh batuan sedimen klastik dan sedimen epiklastik (Gambar 2).



Gambar 2. Peta geologi regional Mengkarang dan sekitarnya (blok hijau), kompleksitas stratigrafi dan struktur geologi sangat tercermin di daerah penelitian, modifikasi dari peta geologi regional lembar Sarolangun-Bangko pada skala 1:250.000 oleh Suwarna, dkk [4]

1.2. Hubungan Magmatisme dan REE.

Proses pembentukan batuan, unsur-unsur logam tanah jarang (REE) tersebar dalam jumlah sedikit atau sebagai jejak, dalam hal ini bukan merupakan komponen utama pembentuk batuan [5]. Namun, semua mineral dapat ditempati oleh salah satu dari tiga kelompok unsur bergantung pada total kandungannya:

Kelompok mineral dengan kandungan (1) konsentrasi REE sangat kecil, termasuk sebagian besar mineral pembentuk batuan. Tingkat konsentrasi relatifnya terkait dengan variasi pola distribusi unsur-unsur tanah jarang ringan (*Light Rare Earth Elements/LREE*) dan berat (*Heavy Rare Earth Elements/HREE*) di dalam mineral-mineral tersebut.

Kelompok mineral dengan sedikit kandungan (2) REE tetapi merupakan bahan inti, terdiri atas mineral-mineral mengandung $> 0,01$ wt.% REE [10]; besar kemungkinan memperlihatkan tren khusus distribusi unsur-unsur tersebut.

Kelompok mineral dengan kandungan terutama (3) REE yang termasuk ke dalam kategori kaya kandungan lantanida, serupa dengan mineral-mineral mengandung kadar REE rendah, seperti alanit (salah satu mineral dari kelompok epidot yang mengandung Ce) dan ytrofluorit (fluorit mengandung Y).

Batuan beku dapat mengandung beberapa ratus ppm lantanida, yang tersebar di dalam mineral utama dan asesori. Pada Tabel 2.1 menunjukkan kisaran kandungan unsur-unsur tanah jarang (Σ REE) di dalam batuan beku menengah hingga silikaan yang kemungkinan ditemukan di lingkungan busur vulkanik/magmatik atau batas lempeng konvergen [5].

Tabel 1. Kandungan Unsur-Unsur Tanah Jarang (REE) di dalam Batuan Beku intermediet-asam [5]

Jenis Batuan Beku	Unsur-unsur Tanah Jarang (Σ REE, dalam ppm)
Andesit benua	67 - 341
Anortosit	1,7 - 148
Granitik (Diorit kuarsa, tonalit, granodiorit)	10,5 - 499
Monzogranit dan sienogranit	8 - 1977

1.3. Kegunaan REE

Memasuki industri modern, unsur tanah jarang merupakan komoditi yang strategis dan signifikan. Pemanfaatan unsur tanah jarang sangat dibutuhkan dalam berbagai macam bidang mulai dari industri elektronik hingga industri transportasi modern. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan pemanfaatan unsur-unsur tanah jarang dalam berbagai macam industri (Tabel 2).

Tabel 2. Pemanfaatan Unsur Tanah Jarang dalam Dunia Industri [11]

Unsur Tanah Jarang Ringan	Pemanfaatan
<i>Lanthanum</i>	Baterai, campuran logam, <i>hybrid engines</i>
<i>Cerium</i>	Katalis, <i>petroleum refining</i> , campuran logam
<i>Praseodymium</i>	Magnet
<i>Neodymium</i>	Katalis, <i>hard drive</i> pada laptop dan <i>headphone</i> , <i>hybrid engines</i>
<i>Samarium</i>	Magnet
<i>Europium</i>	Warna merah pada layar TV dan komputer
<i>Terbium</i>	<i>Phosporus</i> , magnet permanen
<i>Dysporium</i>	Magnet permanen, <i>hybrid engines</i>
<i>Erbium</i>	<i>Phosporus</i>
<i>Yttrium</i>	Pewarna merah, lampu <i>fluorescent</i> , keramik, agen pencampur logam
<i>Holmium</i>	Pewarna gelas, laser
<i>Thullum</i>	Komponen alat X-ray
<i>Lutetium</i>	Katalis pada <i>petroleum refining</i>
<i>Ytterbium</i>	Laser, campuran baja
<i>Gadolinium</i>	<i>Neomagnet</i>

2. METODE PENELITIAN

Secara umum metode yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi studi pustaka, penginderaan jauh, observasi lapangan, analisa petrografi, analisa geokimia ICP, dan pembuatan laporan. Perencanaan yang sistematis akan membantu dalam menyelesaikan penelitian ini dengan terstruktur, sehingga diperlukan suatu tahapan untuk mendapatkan hasil penelitian yang maksimal, diharapkan dapat meminimalisir kekeliruan di dalam penelitian nantinya.

Studi pustaka dilakukan untuk menunjang penelitian mengenai geologi daerah penelitian secara regional maupun lokal, data peta topografi, citra SRTM 90 m, penarikan kelurusan struktur, pembuatan peta tentatif geomorfologi dan geologi, perencanaan lintasan. Observasi lapangan bertujuan untuk mendokumentasikan dan mengambil data primer dengan metode pemetaan geologi yaitu dengan mendapatkan data sebaran batuan permukaan berupa litologi, struktur geologi, batuan teralterasi, pengamatan topografi ataupun kelerengan, dan pengamatan geomorfologi. Preparasi contoh batuan

dilakukan di Teknik Geologi, Universitas Jambi yang berorientasi pada waktu pengambilan data lapangan, di antaranya preparasi untuk analisa Petrografi dan Geokimia-ICP. Tahapan ini dilakukannya analisis dan pengolahan data yang dilakukan di studio dan laboratorium disertai diskusi. Analisis dan pengolahan data ini harus berdasarkan atas konsep-konsep geologi dan juga didukung dari studi referensi tentang topik terkait. Analisis terhadap data-data yang telah dikumpulkan untuk mencapai tahapan penelitian yang telah disusun, sesuai dengan judul penelitian. Pada tahap ini meliputi sintesis dari data lapangan terhadap hasil pengerjaan studio dan laboratorium. Kemudian dilakukan interpretasi data yang bertujuan untuk memperkuat hasil observasi di lapangan. Pada akhir dari tahapan ini dilakukan pemuatan laporan akhir.

3. HASIL DAN ANALISIS

Pengambilan sampel data dilakukan di dua lokasi, lokasi pengamatan merupakan bagian dari busur magmatik Sunda yang disusun oleh batuan plutonik Formasi Granit Tantan hingga Busur Magmatik Eosen Nagan, karena keterdapatannya endapan mineral unsur REE sangat berasosiasi dengan pembekuan batuan beku plutonik [5].

3.1. Lokasi Pengambilan Data Potensi REE Formasi Tantan dan Formasi Nagan

Lokasi pertama dilakukan di Sungai Manau, Desa Durian Lecah, Kabupaten Merangin pada Formasi Tantan dan lokasi kedua pada Bukit Nagan, Desa Bukit Batu, Kabupaten Merangin di Formasi Nagan. Lokasi pengamatan dapat dilihat pada Gambar 3.



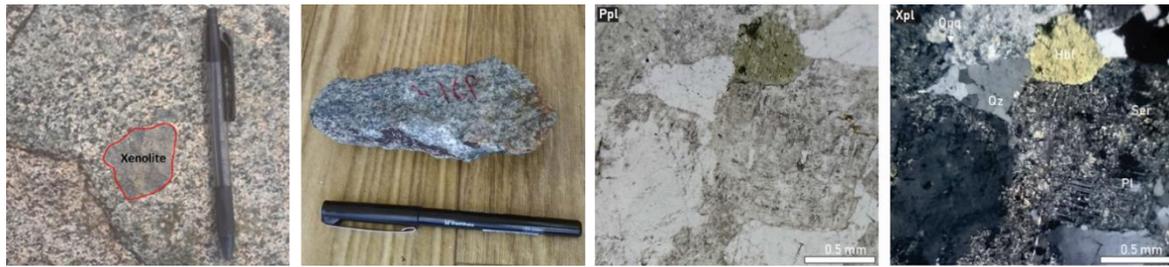
Gambar 3. Lokasi Pengambilan Data Potensi REE Formasi Tantan Sungai Manau, Desa Durian Lecah, Kabupaten Merangin (Kiri) dan Lokasi Pengambilan Data Potensi REE Formasi Nagan Bukit Nagan, Desa Bukit Batu, Kabupaten Merangin (Kanan)

3.2. Proses Preparasi Data dan Petrografi Sampel Batuan Formasi Tantan dan Formasi Nagan

Proses pengambilan batuan dilakukan secara manual dengan menggunakan Palu beku. Dari Analisa sampel fisik batuan yang didapat pada sampel pertama (Formasi Tantan) didapat satuan batuan adalah berupa granodiorite dengan xenolit berupa andesite, micro diorite dan diorite. Terdapatnya xenolith pada batuan granodiorite di Formasi Tantan dikarenakan peleburan tidak sempurna saat proses intrusi berlangsung, sehingga masih terlihat fragmen batuan yang tertanam ditubuh batuan tersebut. Xenolit yang tertanam kemungkinan berasal dari Formasi Pelepat yang berumur Perm. Berdasarkan pengamatan mikroskopis struktur masif, tekstur fanerik, mineral sedang – halus, terdapat alterasi dengan tipe serisit yang dicirikan dengan mineral serisit, komposisi mineral berupa plagioklas, kuarsa, hornblenda, serisit dan opak. Dari analisa tersebut jenis batuan ini adalah Granodiorit.

Sedangkan pada sampel kedua (Formasi Nagan) didapat satuan batuan berupa batuan Granit, Granodiorit dan Adamelit. Batuan-batuan ini adalah batuan beku plutonik bertekstur fanerik dan bersifat asam hingga intermediate [12]. Batuan beku Granitoid umumnya tersusun oleh kristal karena proses pendinginan dari kristalisasi magma yang terjadi secara perlahan yang menghasilkan tekstur faneritik, sehingga tingkat derajat kristalisasi adalah holokristalin. Berdasarkan pengamatan mikroskopis struktur masif, tekstur fanerik, mineral kasar – halus, komposisi mineral berupa plagioklas, k-feldspar, kuarsa, hornblenda, dan biotit. Dari analisa tersebut jenis batuan ini adalah Granit.

Dengan adanya mineral hornblenda dan biotit di batuan Granit Formasi Nagan bisa jadi magma asal bersifat *hydrous*, dimana berasal dari peleburan kerak ataupun peleburan batuan sampling.



Gambar 4. Preparasi Data Batuan dan hasil Analisa Petrografi Formasi Tantan



Gambar 5. Preparasi Data Batuan dan hasil Analisa Petrografi Formasi Nagan

3.3. Hasil Analisa Geokimia dengan Metode ICP

Berdasarkan hasil analisa Geokimia dengan metode ICP diketahui sampel batuan dari Formasi Tantan dan Formasi Nagan mengandung Potensi REE (*Rare Earth Element*), namun tidak semua parameter yang dilakukan karena biaya analisa yang cukup mahal. Dari 17 Unsur Tanah Jarang atau REE dipilih lima unsur, yakni: *Cerium*, *Gadolinium*, *Lanthanum*, *Scandium*, dan *Yttrium*. Dari hasil analisa Geokimia – ICP diketahui unsur REE terbesar pada batuan Granodiorit Formasi Nagan adalah *Cerium* sebesar 23 ppm dan yang terkecil adalah *Gadolinium* sebesar 6 ppm, pada batuan Granit Formasi Nagan unsur REE terbesar adalah *Cerium* sebesar 25 ppm, sedangkan yang terkecil adalah *Scandium* sebesar 0 ppm, padahal unsur *Scandium* pada batuan Granodiorit Formasi Nagan adalah 18 ppm, hal ini menunjukkan karakter REE yang ada di kedua batuan plutonik di dua Formasi ini berbeda. Kandungan REE pada Formasi Tantan dan Formasi Nagan dapat dilihat di (Tabel 3).

Tabel 3. Kandungan Unsur-Unsur Tanah Jarang (REE) di dalam Batuan Beku Formasi Tantan dan Formasi Nagan

No	Kode Conto	PARAMETER				
		<i>Cerium</i> ppm	<i>Gadolinium</i> ppm	<i>Lanthanum</i> ppm	<i>Scandium</i> ppm	<i>Yttrium</i> ppm
1	Formasi Tantan	23	6	13	18	17
2	Formasi Nagan	25	3	16	0	4

4. KESIMPULAN

Batuan beku pada Formasi Tantan tersingkap mulai dari sungai manau sampai sungai mengkarang dengan morfologi curam - terjal, bila diperhatikan melalui peta geologi batuan-batuan ini adalah suatu tubuh intrusi besar dengan luasan lebih kurang 50 km² yang berupa *stock* atau mungkin *batholith*. Dari sini bisa dibuktikan kalau daerah penelitian berupa magmatisme awal dari pulau sumatera. Sehingga dengan diketahui Potensi REE di batuan Granodiorit Formasi Tantan dan batuan Granit Formasi Nagan maka cadangan REE akan sangat besar karena tubuh instrusi berupa *stock* ataupun *batholith* sangat dekat dengan kantong magma atau bahkan waduk magma yang sudah mengalami diferensiasi.

Formasi Tantan berumur Trias dan Formasi Nagan berumur Eosen, sehingga apabila diruntut ada perbedaan kurun antara mesozoikum dan kenozoikum. Dimana ada suatu peristiwa besar vulkanisme dan magmatisme pada zaman Trias, Jatuhnya meteor pada zaman Jura, dan pembentukan batuan-batuan metamorf pada akhir zaman kapur yang disebabkan aktifitas tektonik berupa kompresi dari kurun Mesozoikum sampai Kenozoikum. Lalu pada awal Kenozoikum kala paleosen tidak terjadi pengendapan sehingga terjadi ketidakselaraasan terhadap batuan sedimen yang ada di atasnya Formasi Bandan. Proses Magmatisme mulai terjadi pada umur eosen ditandai dengan Intrusi Batuan Granit Formasi Nagan.

Sehingga hubungan stratigrafi antara Formasi Nagan dan Formasi Tantan adalah Intrusi namun dari observasi lapangan tidak ditemukan adanya *xenolith* dari batuan Granit Formasi Tantan pada Batuan Granit Formasi Nagan.

Dari hasil analisa Petrografi pada Formasi Tantan satuan batuan adalah Granodiorit, dan dari observasi lapangan satuan batuan pada Formasi Tantan terdiri dari granodiorit dengan xenolit berupa andesit, micro diorit dan diorit. Sedangkan Dari hasil analisa Petrografi pada Formasi Nagan satuan batuan adalah Granit dan dari obesrvasi lapangan satuan batuan terdiri dari Granit, Granodiorit dan Adamelit.

Batuan beku Granodiorit Formasi Tantan diketahui memiliki Potensi REE Cerium 23 ppm, Gadolinium 6 ppm, Lanthanum 13 ppm, Scandium 18 ppm, Yttrium 17 ppm. Sedangkan pada Batuan beku Granit Formasi Nagan memiliki Potensi REE Cerium 25 ppm, Gadolinium 3 ppm, Lanthanum 16 ppm, Scandium 0 ppm, Yttrium 4 ppm.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi dari Dana PNPB Penelitian tahun 2019. Terima kasih juga disampaikan kepada panitia penyelenggara Seminar Nasional ReTII dan Seminar Internasional ICITID.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hall, R. (2002) Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of SE Asia and the SW Pasific: Computer Based Reconstruction, Model and Animation, *Journal of Asian Earth Sciences*, 20, 353-356.
- [2] Hamilton, W.B. (1979) Tectonic of the Indonesian Region, Professional Paper 1078, U.S. Geological Survey, Washington, D.C.
- [3] Carlile, J. C., & Mitchell, A. H. G. (1994). Magmatic arcs and associated gold and copper mineralization in Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50(1-3), 91-142.
- [4] Suwarna, N., Suharsono., Gafoer, S., Amin, T.C., Kusnama., Hermanto, B. (1992) Geological Map of Sarolangun Quadrangle Sumateral, Scale 1:250.000, Geological research and Development Centre, Bandung.
- [5] Herman, D.Z. 2009. Tenjauan Kemungkinan Sebaran Unsur Tanah Jarang (REE) Lingkungan Panas Bumi (Contoh kasus Lapangan panas Bumi Dieng, Jawa tengah). *Jurnal geologi Indonesia*. Vol 4. 1-8.
- [6] Haston dkk 2014
- [7] Metcalfe, I. 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. *Journal of Asian Earth Sciences*. 66. 1-33.
- [8] Natawidjaja, D. H. (2017). Updating active fault maps and sliprates along the Sumatran Fault Zone, Indonesia Conf. *Series: Earth and Environmental Science*, 118, 2-10.
- [9] Putra, A. F., & Husein, S. (2016). Pull-apart Basins of Sumatran Fault: Previous Works and Current Perspectives. In *PROCEEDING, SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN KE-9 PERAN PENELITIAN ILMU KEBUMIHAN DALAM PEMBERDAYAAN MASYARAKAT 6-7 OKTOBER 2016; GRHA SABHA PRAMANA*. Departemen Teknik Geologi.
- [10] Wedepohl, K.H., 1970. Handbook of Geochemistry. Springer Verlag, Berlin, vol. II/2.
- [11] Humphries, Marc. 2012. *Rare earth element: The Global Supply Chain*. Congressional research service.
- [12] Todd, E., Gill, J. B., Wysoczanski, R. J., Handler, M. R., Wright, I. C., & Gamble, J. A. (2010). Sources of constructional cross-chain volcanism in the southern Havre Trough: New insights from HFSE and REE concentration and isotope systematics. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11(4).