

RANCANGAN KONSEP, IDENTIFIKASI PARAMETER, SERTA METODA ANALISIS YANG PERLU DIPERTIMBANGKAN DALAM PELAKSANAAN PROGRAM EKSPLORASI LOGAM TANAH JARANG PADA ENDAPAN SEDIMENTER PEMBAWA TIMAH

Syafrizal^{*}, Mohamad Nur Heriawan, Teti Indriati, dan Arie Naftali Hawu Hede

Kelompok Keahlian Eksplorasi Sumberdaya Bumi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

**E-mail: syafrizal@mining.itb.ac.id*

ABSTRAK

Endapan sedimenter adalah endapan sekunder yang dikenal juga sebagai Endapan Plaser (Placer Deposit) atau Endapan Letakan, dimana salah satunya adalah endapan timah alluvial yang ada di Pulau Bangka dan Belitung. Selain mineral pembawa timah seperti Kasiterit, terdapat juga Mineral Ikutan Timah (MIT) pembawa Rare Earth Element (REE) atau Logam Tanah Jarang (LTJ) berupa ilmenite, rutile, xenotime, monzonite, dan zirkon. Karena mineral-mineral pembawa REE atau LTJ ini merupakan MIT, maka karakteristik fisik dari MIT menjadi sangat penting untuk diketahui dan dipelajari. Oleh sebab itu rancangan konsep awal serta identifikasi parameter sangat penting untuk diidentifikasi pada perancangan kegiatan eksplorasi. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah alat yang digunakan, preparasi, dan pemilihan pengolahan data, variabilitas hasil analisis kadar pada variasi lokasi dan jenis sampel. Hal ini dimungkinkan karena sifat pengambilan sampel sangat penting untuk mendapatkan gambaran lengkap untuk sebaran geokimia MIT. Di sisi lain mengingat yang menjadi target eksplorasi adalah mineral pembawa timah, maka perlu dilakukan juga kajian khusus sehubungan optimasi spasi bor untuk timah dan mineral ikutan pembawa REE yang dihubungkan dengan variasi-variasi lokasi endapannya. Pemahaman konsep ini sangat penting diketahui dalam rangka konservasi sumberdaya alam, khususnya dalam pengelolaan endapan timah serta mineral-mineral ikutannya, terutama pembawa LTJ/REE.

Kata kunci: sedimenter, plaser, alluvial, mineral ikutan timah, logam tanah jarang.

ABSTRACT

Sedimentary deposits are secondary deposits and also known as placer deposits, one of these deposits is alluvial tin deposits in Bangka and Belitung Islands. In addition to tin-bearing minerals such as cassiterite, there are also tin-associated minerals (mineral ikutan timah = MIT) that carry rare earth elements ~ REE (Logam Tanah Jarang - LTJ) such as ilmenite, rutile, xenotime, monazite, and zircon. Although these REE-bearing minerals are MIT, the physical characteristics of MIT are very important to be determined. Therefore, the initial concept and identification of parameters must be identified in the exploration planning activities. Things that need to be considered are the tools, preparation, and data processing, the variability of the results of the grade analysis at variations in the location and type of sample. It might cause of the nature of sampling is essential to obtain whole description of the MIT geochemical distribution. Considering the exploration target is tin-associated minerals (MIT), it is also necessary to carry out a special study related the optimization of drill space for tin and REE-bearing minerals which are associated with variations of the location of its deposits. Comprehension of the concept is important to natural resource conservation, especially at tin deposits and tin-associated minerals (MIT) that carriers of LTJ/REE.

Keyword: sedimenter, placer, alluvial deposit, tin associated minerals, Rare Earth Element.

A. PENDAHULUAN

REE merupakan salah satu dari mineral strategis yang mencerminkan urgensinya dalam pengembangan industri maju berbasis teknologi. Kebutuhan rata-rata REE di pasar dunia diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi yang sangat pesat. Potensi REE di Indonesia belum terpetakan dan terinventarisasi dengan baik, baik secara lokasi maupun karakteristik keterdapatannya. Mineral-mineral pembawa REE diyakini dapat dihubungkan dengan batuan granit beserta produk lapukannya yaitu *placer deposit* berupa monazite dan xenotime serta lapukan granit berupa laterit dimana ion REE yang terserap (*ion-adsorption*) pada mineral lempung.

Pada banyak literatur seperti Schwartz dkk (1995), Cobbing (1986), Syafrizal dkk (2017, 2019) menjelaskan bahwa sabuk timah (*tin belt*) yang memanjang lebih 3000 km di Asia Tenggara yang melewati semenanjung mulai dari Myanmar hingga Indonesia di kepulauan Bangka Belitung tersebar batuan-batuan granit yang merupakan host pembawa logam timah dengan banyak terdapat mineral-mineral ikutan termasuk monazite, xenotime, dan bastnasite yang diperkirakan merupakan mineral-mineral utama pembawa *Rare Earth Elements* (REE) yang dalam bahasa Indonesia disebut sebagai Logam Tanah Jarang (LTJ).

Mineral pembawa LTJ umumnya berupa mineral asosiasi dari komoditi utama endapan timah yang dikenal dengan istilah Mineral Ikutan Timah (MIT). Aktivitas pengolahan bijih alluvial timah atau *placer deposit* sudah tentu di desain untuk dapat memperoleh mineral pembawa timah yang umumnya berupa kasiterit. Sedangkan sisa dari proses pengolahan bijih alluvial timah ini akan menghasilkan tailing yang diyakini mengandung LTJ. Pemerintah melalui Permen ESDM No. 25/2018 Tentang Pengusahaan Pertambangan Mineral dan Batubara dan serta Permen ESDM No. 26/2018 Tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan Yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara, telah mengupayakan agar perusahaan tambang untuk melakukan *total mining* dan konservasi mineral timah beserta MIT nya.

Unsur tanah jarang atau REE (*Rare Earth Element*) atau LTJ merupakan kumpulan dari 17 unsur yang jarang ditemukan di alam. Ketujuh-belas unsur ini adalah: Scandium (Sc), Yttrium (Y), Lanthanum (La), Cerium (Ce), Praseodymium (Pr), Neodymium (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbitium (Tb), (Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb), dan Lutetium (Lu). REEs disebut jarang karena di alam unsur-unsur ini memang jarang ditemukan dalam kuantitas yang besar, meskipun kelimpahannya di kerak bumi jauh lebih banyak dibandingkan emas maupun logam dasar. Keterdapatannya REEs umumnya tidak dijumpai secara tunggal dalam sebaran dengan jumlah besar, tetapi ditemukan kecil-kecil sebagai ikutan pada mineral lain sebagai senyawa kompleks (Humphries, 2013).

Pada penelitian Syafrizal dkk (2019a dan 2019b) diketahui bahwa unsur-unsur LTJ yang dijumpai di Bangka – Belitung terdapat pada mineral-mineral seperti monazite, zircon, xenotime, ilmenite, dan rutile yang Mineral Ikutan Timah (MIT). Mineral-mineral pembawa LTJ tersebut dijumpai pada *placer deposit* serta pada tailing/sisa hasil pengolahan timah (SHP). Juga disampaikan bahwa kegiatan atau program eksplorasi terkait LTJ pada MIT maupun SHP yang dilakukan pada saat ini masih cenderung sporadis tergantung pada permintaan. Jika akan ditinjau dari skala nasional, memang seharusnya kegiatan eksplorasi LTJ seharusnya dilakukan secara metodis, yaitu bertahap mulai dari pemahaman yang baik terhadap keberadaan dan variasi endapan hingga tahap eksplorasi rinci.

Szamalek, dkk, pada tahun 2013 melaporkan bahwa berdasarkan analisis terhadap sampel dari *tailing* yang mereka kumpulkan dari pulau Bangka mengandung (dalam % berat) 21,23% monazite dan 17,55% xenotime serta zircon, ilmenite, anatase, dan rutile. Tentu saja klaim ini perlu dikonfirmasi sehubungan dengan representatif atau tidaknya sampel yang dianalisis tersebut. Namun setidaknya informasi ini dapat mengatakan bahwa pada tailing proses pengolahan bijih timah atau SHP menunjukkan keberadaan mineral-mineral pembawa LTJ yang cukup signifikan.

Berdasarkan uraian di atas, maka salah satu upaya yang pertama dapat dilakukan adalah dengan melakukan memahami dan melakukan inventarisasi keterdapatan LTJ pada masing-masing variasi endapan, memahami parameter-parameter kunci sehubungan indikasi keterdapatan LTJ, serta mengetahui karakteristik keterdapatan LTJ tersebut, sehingga selanjutnya dapat menjadi pertimbangan dalam menyusun program eksplorasinya.

B. METODOLOGI

B.1. Pembentukan Endapan Mineral Pembawa LTJ

Mineral-mineral pembawa LTJ pada umumnya ditemukan dalam batuan beku, batuan sedimen, dan juga batuan metamorf. Konsentrasi dan distribusi mineral pembawa LTJ dipengaruhi oleh pengayaan dalam fluida magmatik ataupun fluida hidrotermal. Sebagaimana pembagian umum pada endapan bahan galian secara umum, endapan mineral pembawa LTJ dapat dikelompokkan sebagai endapan primer dan endapan sekunder. Endapan primer pembawa LTJ umumnya berasosiasi dengan batuan beku (pada fase pegmatik dan/atau pneumatolitik) dan proses hidrotermal.

Sedangkan endapan sekunder yang merupakan akumulasi atau konsentrasi material hasil rombakan endapan primer melalui proses pelapukan, transportasi, dan konsentrasi. Beberapa lokasi di pulau Bangka dan Belitung, akibat proses denudasi (gaya eksogen seperti proses pelapukan dan erosi yang menyebabkan bentuk permukaan bumi menjadi berubah) dalam periode waktu yang panjang, menyebabkan terjadinya peguraian dan perombakan batuan granit menjadi material lepas, diikuti oleh proses lanjutan berupa transportasi melalui media air sehingga terjadi pemilahan (*sorting*) material lepas tersebut sesuai dengan berat jenisnya, dan kemudian diikuti proses pengkonsentrasian mineral-mineral berat dalam satu lapisan.

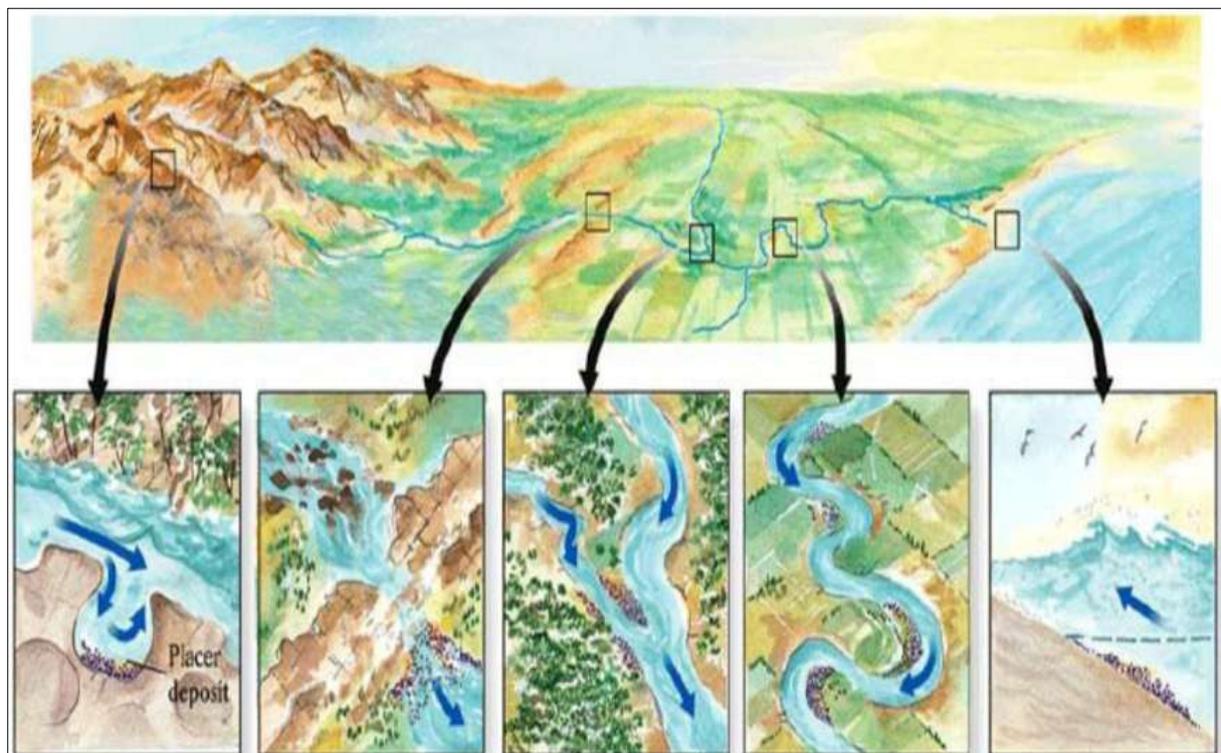
Berdasarkan paparan di atas, maka dapat dikatakan bahwa sedikitnya ada 3 (tiga) hal yang menjadi parameter untuk dapat mengindikasikan kemungkinan adanya potensi MIT dan LTJ, yaitu:

- a. Batuan asal (*source rock*) berupa batuan granit yang terbukti membawa mineralisasi timah (kasiterit) beserta MIT pembawa LTJ. Mineralisasi timah dapat berupa *disseminated*, *stockwork*, *veinlets*, maupun *vein* sebagai endapan greissen ataupun distal.
- b. Keberadaan jaringan sungai (*drainage system*) yang memungkinkan terjadinya proses erosi, pengangkutan, pemilahan (*sorting*), serta sedimentasi.
- c. Keberadaan morfologi atau bentuk muka bumi berupa cekungan yang dapat menjadi perangkap bagi material-material lepas dapat terakumulasi yang dicirikan dengan adanya konsentrasi-konsentrasi akumulasi material lepas tersebut di permukaan.

Secara teoritis, untuk endapan timah serta pembawa MIT dan LTJ yang merupakan endapan sekunder disebut juga dengan endapan letakan (*placer deposit*) dapat dikelompokkan menjadi beberapa tipe sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Gambar 1**. Secara tradisional dikatakan sebagai endapan plaser residual jika akumulasi material lepas terletak di atas batuan asalnya dan disebut sebagai eluvial jika mengacu kepada Evans (1994). Jika material lepas tersebut terakumulasi dan tertransportasi masih dalam bentuk padatan secara tradisional disebut sebagai endapan eluvial atau disebut kolovial oleh Evans (1994). Sedangkan jika transportasi material lepas tersebut sudah dikontrol oleh media air, maka kita biasa menyebutnya sebagai endapan alluvial (jika di darat), *beach placers* (jika di pantai), dan *offshore placers* (jika di laut), namun jika mengacu kepada Evans (1994) dikatakan fluvial jika di darat, *sand-line* jika di pantai serta *marine placers* jika di laut.

Tabel 1. Penamaan Tipe Endapan Placer.

Asal (Sumber)	Kelas (tradisional)	Kelas (Evans, 1994)
Terakumulasi insitu sepanjang proses pelapukan	Residual Placers	Eluvial
Konsentrasi akibat pergerakan pada media padatan	Eluvial Placers	Colloviaal
Konsentrasi akibat pergerakan pada media air	Stream/Alluvial Placers, Beach Placers, Offshore Placers	Fluvial Sand-line Marine Placers
Konsentrasi akibat pergerakan pada media angin/udara	Aeolian Placers	Desert atau Coastal Aeolian



Gambar 1. Perkiraan lokasi-lokasi endapan placer (dari kiri ke kanan) eluvial/kolovial, alluvial, beach/offshore. (Sumber: https://www.researchgate.net/publication/301865558_Placer_Mineral_Deposits).

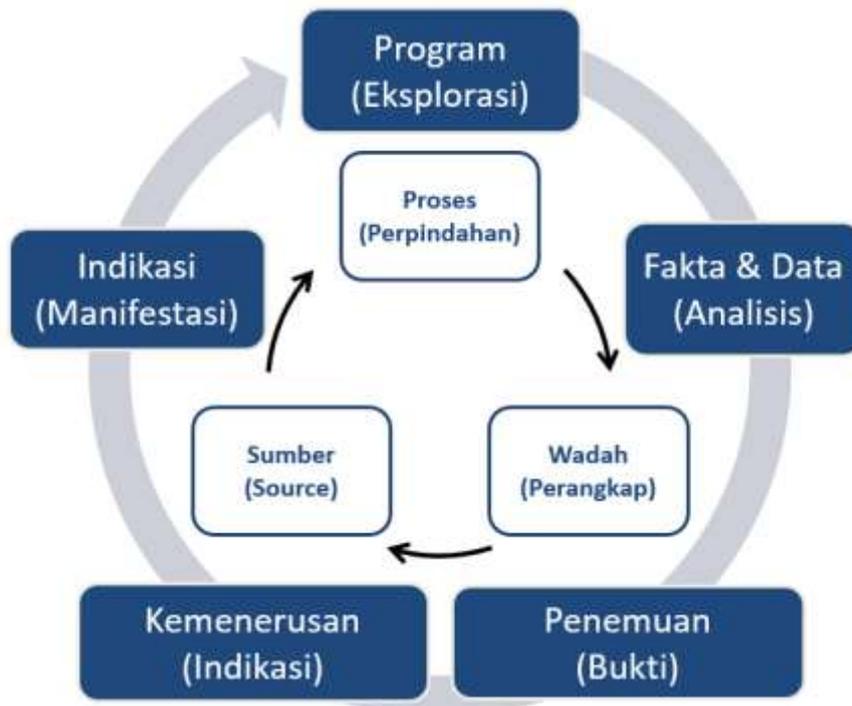
Secara spesifik, pengendapan endapan timah di Pulau Bangka-Belitung terjadi secara konsentrasi mekanik dimana terjadi pemisahan gaya berat secara ilmiah dari mineral-mineral berat oleh pergerakan air. Selama proses pelapukan, maka mineral-mineral stabil akan terlepas dari batuan pembawanya sedangkan mineral-mineral yang tidak stabil akan terurai dan tercuci. Pergerakan aliran air akan menyebabkan proses pemisahan antara mineral-mineral berat dan mineral-mineral ringan berdasarkan berat material yang bergantung pada ukuran butir dan berat jenisnya. Laju pengendapan material selain dipengaruhi oleh kecepatan fluida, juga dipengaruhi oleh perbedaan berat jenis, ukuran, dan bentuk partikel. Mineral dengan berat jenis besar relatif akan terdapat bersamaan dengan mineral yang berbutir lebih kasar namun dengan berat jenis yang lebih kecil.

Laju pengendapan butiran material (partikel) di air juga dipengaruhi oleh bentuk permukaan partikel. Pada dua partikel dengan berat sama tapi berbeda ukuran, maka partikel yang lebih kecil akan memiliki permukaan yang lebih kecil sehingga akan mempunyai friksi atau gesekan yang lebih kecil dengan air. Hal ini menyebabkan material yang lebih kecil tersebut dapat tenggelam dengan cepat. Selain itu, bentuk partikel juga dapat mempengaruhi laju pengendapan. Suatu partikel dengan bentuk membundar akan mempunyai luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan partikel yang tipis berbentuk gepeng memanjang, sehingga pada berat yang sama maka partikel yang membundar tersebut akan tenggelam lebih cepat.

B.2. Filosofi dan Konsep Eksplorasi

Filosofi atau filsafat adalah pembelajaran mengenai masalah umum dan fundamental seperti yang berhubungan dengan realitas, keberadaan, pengetahuan, nilai, alasan, pikiran dan bahasa (<https://kbbi.kemdikbud.go.id/>). Dalam konteks eksplorasi, maka filosofi eksplorasi selalu dimulai dengan pemahaman tentang konsep pembentukan endapan, karena pembentukan endapan ini akan bersifat “unik” untuk setiap tipe endapan. Selanjutnya dengan berpijak pada pengetahuan tentang endapan, maka dapat disusun konsep eksplorasi yang sesuai dan selanjutnya direncanakan suatu program eksplorasi.

Pada Gambar 2 dapat dilihat diagram yang menggambarkan hubungan antara filosofi pembentukan endapan dengan program eksplorasi.



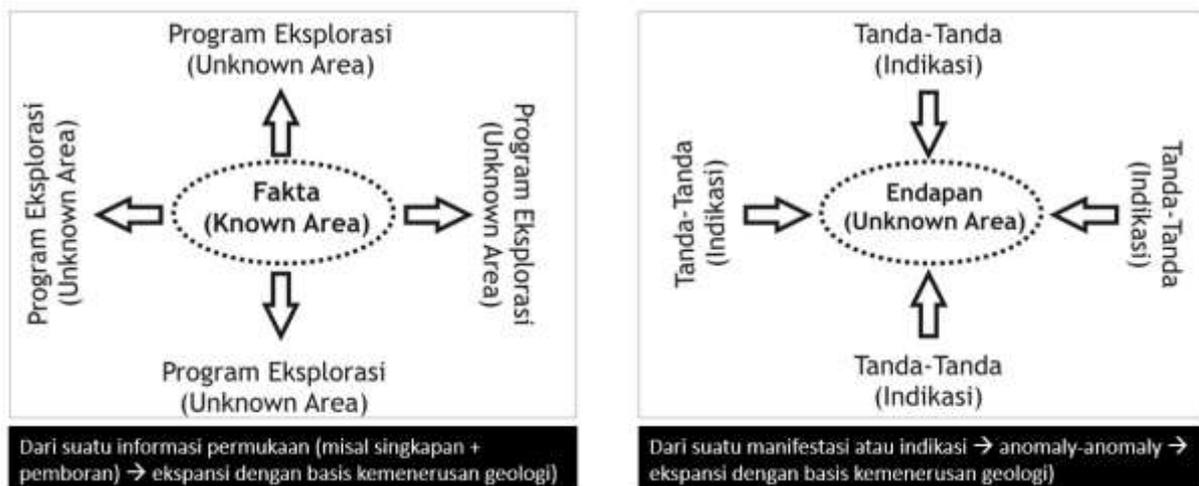
Gambar 2. Hubungan antara filosofi pembentukan endapan dengan program eksplorasi.

Pada bagian dalam dari diagram memperlihatkan prinsip dasar pemahaman pembentukan endapan dimana terdapat 3 (tiga) aspek atau parameter utama yang harus dipahami yaitu adanya sumber (batuan asal), proses (perpindahan) yang menyebabkan terjadinya pemisahan mineral atau logam berharga dari batuan asal, serta wadah (perangkap) yang merupakan mekanisme untuk proses konsentrasi atau akumulasi mineral berharga pada suatu lingkungan geologi tertentu. Untuk

pembentukan mineral-mineral pembawa LTJ sudah dijelaskan pada Sub-Bab B.1 di atas. Selanjutnya berdasarkan fakta-fakta dan data serta keberadaan indikasi-indikasi (manifestasi) di lapangan tersebut dapat digunakan sebagai bukti penemuan dan kemudian digunakan sebagai dasar penyusunan program eksplorasi untuk mendapatkan penemuan baru atau untuk menelusuri tanda-tanda kemenerusannya.

Selanjutnya dapat dapat digunakan 2 (dua) pendekatan konsep eksplorasi sebagaimana terlihat pada **Gambar 3**.

1. Dalam hal ini, telah diketahui bahwa selama ini kegiatan eksplorasi yang berkembang di Indonesia pada umumnya dan oleh PT Timah pada khususnya terfokus pada komoditi timah, sehingga seluruh metoda eksplorasi yang diterapkan didasarkan untuk mendapatkan logam timah berupa mineral kasiterit baik dari teknik sampling, analisis sampel, pemodelan, dan lain-lain. Kemudian keberadaan mineral pembawa LTJ teridentifikasi setelah proses perlakuan sampel dilakukan berdasarkan keberadaan kasiterit tersebut sehingga tidak diketahui dengan pasti bagaimana keberadaan mineral-mineral pembawa LTJ tersebut dengan baik. Dengan mengacu kepada Gambar 3, maka program eksplorasi yang cocok dilakukan adalah dari Fakta berupa data-data eksplorasi bijih Timah digunakan sebagai dasar untuk melakukan perencanaan program eksplorasi.
2. Sebagai alternatif, dapat digunakan konsep pada bagian lain di **Gambar 3**, yaitu mengumpulkan semua indikasi-indikasi sebagaimana dijelaskan sebelumnya yang dimulai dari mengumpulkan data-data pada keberadaan LTJ pada batuan sumber (*source*) berupa batuan andesit, lalu mengambil sampel secara sistematis pada seluruh jaringan sungai, seluruh SHP, serta pada seluruh sentra pengolahan timah (berupa konsentrat timah) yang kemudian sebagai dasar untuk mendapatkan indikasi-indikasi sehingga akhirnya bisa diketahui lokasi potensi untuk keberadaan mineral pembawa LTJ yang potensial.



Gambar 3. Konsep Dasar Eksplorasi untuk Menggambarkan Hubungan Data dan Arah Eksplorasi.

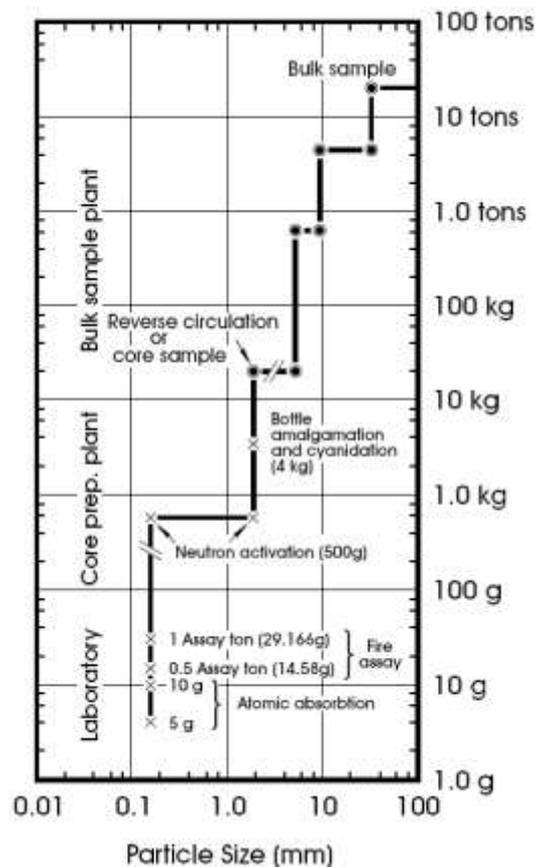
B.3. Konsep Sampling

Secara umum pengambilan sampel (sampling) di dalam program eksplorasi harus memperhatikan beberapa hal antara lain sebagai berikut:

- Teknik sampling: dapat berupa sampel yang berasal dari pengeboran inti, dapat berupa pecahan batuan (*chip*) yang berasal dari *channeling* (sampel alur) maupun dari hasil

pemboran *open hole* dan *reverse circulating*, atau berupa partikel atau material seperti dari hasil sumur uji, bangka bor, maupun *grab sampling*.

- Ukuran dan jumlah sampel: merupakan hubungan antara ukuran partikel sampel dengan jumlah (banyak) sampel yang harus diambil, dimana secara umum hubungan antara ukuran partikel dan jumlah/banyak sampel dapat dilihat pada **Gambar 4**. Secara umum, semakin besar ukuran partikel sampel maka harus semakin banyak jumlah sampel yang harus di ambil. Tentu saja hal ini akan berkorelasi dengan teknik sampling yang akan dipilih sesuai dengan karakteristik endapan agar dapat mendapatkan sampel yang representatif.
- Preparasi dan analisis sampel; merupakan tahapan yang krusial dan juga memerlukan perhatian lebih. Preparasi sampel yang baik, dimulai dari lokasi sampling hingga sampai ke laboratorium harus tercatat dan terdokumentasi dengan baik sehingga potensi terjadinya kontaminasi dapat dihindari serta dilusi dapat di kelola sesuai dengan disyaratkan. Analisis sampel juga harus dipilih sesuai dengan tipe dan jenis endapan atau sampel, pemilihan metoda analisis juga harus melewati kajian yang matang, serta prosedur QA/QC harus dijalankan dengan baik.



Gambar 4. Hubungan antara ukuran partikel dengan jumlah sampel (Alastair J. Sinclair and Garston H. Blackwell., 2004).

B.4. Pola dan Desain Eksplorasi

Pola dan desain eksplorasi secara umum dapat dikatakan sebagai distribusi spasial titik-titik pengambilan data yang ditentukan oleh seberapa luas suatu areal yang dapat diwakili oleh suatu titik data atau sering disebut dengan “*grid density*”. Grid density atau kerapatan data ini tentu saja akan

dipengaruhi oleh kontinuitas dan homogenitas data pada masing-masing tipe endapan pada areal tertentu.

Kontinuitas dan homogenitas data ini dapat berupa data yang berhubungan dengan geometri seperti ketebalan atau data yang berhubungan dengan nilai seperti kadar atau kualitas. Secara umum pola dasar dari eksplorasi adalah pola bujursangkar dimana jarak atau spasi titik data dibuat seragam dalam arah tertentu dimana pola bujursangkar ini dapat menjadi pola persegi panjang dimana terjadi perapatan titik data dalam salah satu arah akibat adanya perbedaan variabilitas data dalam arah tersebut. Dalam kondisi khusus, desain eksplorasi dapat dibuat random atau acak tanpa pola tertentu yang disebabkan oleh tidak adanya kecenderungan data dalam arah tertentu atau pada daerah dengan variabilitas data yang tinggi.

C. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

C.1. Model Genetik dan Karakteristik Endapan Pembawa Timah, MIT, dan LTJ

C.1.1. Endapan Pembawa Timah Primer.

Model genetik endapan primer pembawa timah (umumnya greissen) secara umum mengacu kepada Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models U.S. Geological Survey Open-File Book 95-831(1996) serta untuk endapan timah primer di Bangka Belitung mengacu kepada Schwartz and Surjono (1991), Hede dkk (2017), dan Indriati dkk (2017). Secara deskriptif, model genetik endapan primer pembawa timah ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Deskripsi Model Genetik Endapan Timah & MIT - LTJ Primer

<p>Tatanan Geologi: Model Sn-W Greissen: Umumnya berupa pluton yang kaya dengan Logam Jarang, pada bidang kontak dengan country rock, lebih umum berupa batolit granitik. Deposit di Bangka-Belitung: Terbentuk pada batuan plutonic dengan komposisi dari gabbro to granite.</p>
<p>Host Rock: Model Sn-W Greissen: Granitic plutonic rocks, especially late-stage, highly evolved, specialized biotite and (or) muscovite (S-type or A-type) granites and leucogranites. Deposit di Bangka-Belitung: medium- to coarse-grained biotite granite, megacrystic medium-grained biotite granite, two-mica granite/muscovite granite.</p>
<p>Assosiasi Endapan: Model Sn-W Greissen: Granitic plutonic rocks, especially late-stage, highly evolved, specialized biotite and (or) muscovite (S-type or A-type) granites and leucogranites. Deposit di Bangka-Belitung: The tin-mineralized two-mica granite is distinguished by its high mica content from the unmineralized fine-grained muscovite granite and magmatic-hydrothermal evolution (the fine-grained muscovite granite shows a much higher vein/fracture density than the medium-grained two-mica granite).</p>
<p>Bentuk Endapan: Model Sn-W Greissen: Most vein deposits consist of individual veins or sets of veins or districts contain hundreds of such veins; bulk-minable vein stockworks; disseminated in greisenized granite cupolas; pipes, lenses, or irregular breccia zones. Deposit di Bangka-Belitung: greisen-bordered vein swarms, vein deposits in granite, cassiterite disseminations in granite as well as vein deposits and replacement deposits in sediments. Sepanjang Neogene and Quaternary terjadi erosi yang menyebabkan cassiterite terendapkan sebagai alluvial deposits.</p>

Mineralisasi:

Model Sn-W Greissen: Wolframite series minerals (huebnerite-ferberite) and (or) cassiterite as ore minerals. Common minerals: Scheelite, molybdenite, bismuthinite, base-metal sulfide, tetrahedrite, pyrite, arsenopyrite, stannite, native bismuth, bismuthinite, fluorite, muscovite, biotite, feldspar, beryl, tourmaline, topaz, and chlorite.

Deposit di Bangka-Belitung: Cassiterite, wolframite, scheelite, allanite, zircon, monazite, and apatite, muscovite ± tourmaline ± topaz ± cassiterite. Minor pyrite, cassiterite, chalcopyrite, sphalerite, galena, pyrrhotite, marcasite, tennantite, rutile, sphene, wolframite, enargite and luzonite.

Geokimia:

Model Sn-W Greissen: High contents of specific rare elements (F, Rb, Li, Sn, Be, W, and Mo) relative to normal granites; elevated concentrations of B, Nb, Ta, U, Th, and REE; extremely enriched in lithium, fluorine, rubidium, boron, and beryllium and also contain sulfide and sulfosalt minerals of Cu, Pb, Zn, Bi, Ag, As, and Sb.

Deposit di Bangka-Belitung: The biotite granites are enriched in some lithophile trace elements such as Pb, Rb, Sn and U. The medium-grained two-mica granite is enriched in Sn, Pb, Rb, W and Zn. Kandungan H-REE dan L-REE dalam jumlah yang variatif.

C.1.2. Endapan Sekunder Pembawa Timah – MIT – LTJ

Deskripsi untuk model genetik endapan sekunder MIT dan LTJ ini didasarkan pada penelitian yang dilaksanakan oleh Syafrizal dkk (2017, 2019a, dan 2019b). Deskripsi model genetik endapan sekunder MIT dan LTJ ini dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Deskripsi Model Genetik Endapan Timah & MIT - LTJ Sekunder

Tatanan Geologi:

Endapan sekunder pembawa timah disebut dengan endapan letakan (*placer deposits*) yang terbentuk akibat adanya proses pelapukan dan perombakan endapan primer atau endapan sekunder purba yang telah ada sebelumnya (*reworking*), kemudian terjadi pemisahan (*sorting*) dan pengkayaan (konsentrasi) melalui media air yang kemudian terendapkan pada morfologi yang lebih rendah dan bahkan sampai ke laut sebagai endapan lepas pantai.

Host Rock:

Sabuk Timah (*Tin Belt*) diperkirakan terbentuk sepanjang Periode Triassic (*Triassic period*) yang didominasi oleh batuan granit tipe-S (*S-type granite*). Endapan Timah Primer yang merupakan asal (*source*) dari endapan timah plaser berasosiasi kuat dengan granit-biotit atau granit-biotit-muskovit, dimana hampir sebagian besar produksi timah dari Bangka-Belitung berasal dari endapan sekunder (endapan plaser) nya. Ada hubungan antara magmatisme granit ini menyebabkan bentuk primer endapan berupa “greissen”.

Assosiasi Endapan:

Eluvial, Collovia, Alluvial dan Offshore (lihat Tabel 1).

Ketebalan lapisan endapan timah ini bervariasi dari mulai 7 hingga >30 meter.

Proses tersebut dapat berlangsung beberapa kali sehingga proses pengendapan juga dapat berlangsung beberapa kali. Proses seperti ini memungkinkan untuk terbentuknya kondisi lapisan timah yang berulang-ulang.

Endapan timah umumnya relatif horizontal, berbentuk pasir, relatif sudah terliberasi sempurna, serta lapisan endapan timah umumnya berada pada kedalaman tertentu.

Proses pencucian ditujukan untuk meningkatkan konsentrasi bijih timah dengan cara memisahkan MIT dengan media air melalui prinsip gravitasi sehingga menghasilkan bijih timah dan SHP.

Bentuk Endapan:

Berupa material lepas pada aliran sungai atau pada alluvial purba, pada tailing berupa SHP, serta pada konsentrat timah sebagai MIT.

MIT pada umumnya berupa ilmenit, rutil, zirkon, hematit, monasit, dan xenotim.

Keberadaan MIT pada endapan alluvial dominan pada fraksi 65#, pada koluvial dominan pada fraksi 100#, pada Tailing dominan pada fraksi 150#.

Dominasi mineral pembawa REEs (atau LTJ) memiliki kecenderungan bahwa mineral cassiterite mendominasi pada fraksi meh +48 dan mineral pembawa REEs mendominasi pada fraksi ukuran butir yang lebih halus.

Mineralisasi:

Mineral yang umum dijumpai: quartz, hematite, orthoclase, kaolinite, ilmenite, cassiterite, monazite, xenotime, pyrite, amphibole, and zircon. Untuk masing-masing mineral (Kekerasan dalam skala Mosh dan SG): kuarsa (7 dan 2,6), orthoclase (6 dan 2,5), kaolinite (1,5 dan 2,5), monazite (5 dan 4,8-5,5), xenotime (4-5 dan 4,4-5,1), zircon (7 dan 3,9-4,8), pirit (6 dan 4,8-5,0), hematite (6 dan 5,2-5,3), amphibole (5,5 dan 2,9-3,3), ilmenit (5,5 dan 4,7), cassiterite (6,5 dan 6,8-7,1).

C.2. Implikasi Terhadap Perencanaan Program Eksplorasi LTJ

C.2.1. Pemilihan (Seleksi) Daerah Target

Mineral pembawa LTJ mengandung unsur Radioaktif, sehingga anomali radioaktif bisa menjadi salah satu petunjuk. Penerapan spektroskopi reflektansi dapat menjadi alternatif untuk seleksi daerah target. Spektroskopi Reflektansi merupakan salah satu metode nondestruktif untuk identifikasi mineral dan sebagai dasar dalam analisis penginderaan jauh (indraja) sensor optik (Hede dkk., 2019). Hede (2019) juga menyampaikan bahwa penelitian spektroskopi reflektansi ini bertujuan melakukan kajian penerapan spektroskopi reflektansi pada panjang gelombang 350–2.500 nm untuk sampel tanah dan batuan pembawa LTJ (rare earth element-REE) dan radioaktif.

Khusus untuk lahan yang sudah terganggu (telah ada aktivitas penambangan, berupa tailing, berupa SHP, dan kondisi lain) perlu dilakukan identifikasi awal yang lebih spesifik untuk mengetahui beberapa hal sebagai berikut:

- pihak yang melakukan penambangan (apakah sebelum adanya PT Timah, oleh PT Timah, oleh Mitra PT Timah, atau oleh rakyat),
- memahami perlakuan yang dilakukan (apakah dilakukan pengolahan di tempat sehingga menjadi SHP, apakah merupakan wilayah penimbunan tailing, apakah material dibawa ke tempat lain untuk diproses lebih lanjut),
- melakukan profil untuk memperkirakan kedalaman/ketebalan material SHP, tailing, atau timbunan, serta
- menetapkan skala prioritas apakah akan dilakukan observasi lanjut untuk timah + LTJ atau fokus hanya LTJ saja dengan mempertimbangkan tingkat efisiensi penerapan metoda pengolahan yang digunakan sebelumnya pada wilayah tersebut.

C.2.2. Protokol Sampling dan Penanganan Sampel

Teknik pengambilan sampel dilakukan sesuai dengan bentuk (tipe) endapan. Untuk tipe endapan primer pengambilan sample dengan chip sampling (misal reverse circulating atau RC) dan/atau coring. Metoda grab sampling untuk selain batuan pada endapan primer, aluvial, koluvial, tailing, dan konsentrat, salah satunya adalah Banka Bor. Perlu diperhatikan kesesuaian jumlah sampel dengan ukuran butir partikel sebagaimana terlihat pada **Gambar 4**.

Khusus untuk endapan placer atau SHP atau Tailing, protokol sampling yang disiapkan untuk eksplorasi timah mungkin masih dapat digunakan, namun perlu perlakuan khusus untuk penyiapan (preparasi) sampel nya karena ada perbedaan SG yang cukup signifikan (lihat **Tabel 3**) antara Timah (Cassiterit) – MIT Pembawa LTJ (Monazite, Xenotime, Rutil, Ilmenit, Zirkon, dll) – Mineral Gangue (Kuarsa, Feldspar, Limonit, dll) dengan cara menguji tingkat “kebersihan” sampel yang dibawa untuk di analisis lebih lanjut. Ada baiknya seluruh sampel dibawa terlebih dahulu, lalu baru dilakukan proses pembersihan (misal dengan dulang) dengan tingkat kemurnian yang harus diuji dahulu (misal 20%, 40%, 60%, atau 80%) terhadap konsentrasi mineral berat.

Selain itu, dengan adanya perbedaan Specific Gravity (SG) antara Cassiterit dengan Xenotime-Monazite-Zircon-Ilmenit dengan Kuarsa-Feldspar-Muscovite maka penggunaan larutan berat (“medium dense”) dapat dipertimbangkan untuk dikombinasikan dengan fraksi ukuran butir.

C.2.3. Metoda Analisis

Berdasarkan penelitian dan pengamatan yang dilakukan sejak tahun 2017, Mineral Ikutan Timah (MIT) termasuk yang pembawa Rare Earth Element (REE) atau Logam Tanah Jarang (LTJ) berupa ilmenite, rutile, xenotime, monzonite, dan zirkon berhasil diidentifikasi melalui berbagai jenis analisis (Mineralogi Butir, XRD, SEM, dan EPMA serta ICP-MS) pada setiap jenis sampel (primer, aluvial, tailing, dan konsentrat).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah alat yang digunakan, preparasi, dan pengolahan data yang dilakukan. Selain itu diindikasikan terdapat variabilitas hasil analisis kadar pada beberapa sampel jenis yang sama dan diambil dari lokasi yang sama serta dengan membandingkannya pada referensi penelitian yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa variabilitas endapan cukup tinggi, sehingga dibutuhkan titik data yang banyak dan rapat.

Metode analisa mineral butir (grain counting) merupakan salah satu metode rutin yang dilakukan untuk mendapatkan informasi kadar, distribusi mineral pada berbagai fraksi, distribusi ukuran butir, dan serta kadar. Namun hasil analisa mineral butir ini bersifat subjektif dan bergantung pada personal yang melakukannya. Perlu dipertimbangkan metode automated mineralogy yang lebih kuantitatif.

Selain kelompok REE yang juga merupakan critical commodity dan berasosiasi dengan batuan granitik serta lapukannya seperti Lithium (Li), Gallium (Ga), Vanadium (Va), Niobium (Nb), Hafnium (Hf), Indium (In), Beryllium (Be) serta logam-logam lain yang berasosiasi dengan timah dan tungsten. Dalam hal ini diperlukan metoda analisis dengan tingkat akurasi tinggi seperti ICP-MS

C.2.4. Spasi bor optimum

Perlu dilakukan kajian untuk optimasi spasi bor optimum karena diperkirakan akan ada perbedaan variabilitas antara target logam timah dengan mineral pembawa LTJ. Secara umum dapat diperkirakan bahwa eksplorasi dengan MIT pembawa LTJ diperlukan spasi bor optimum yang lebih rapat daripada spasi pada eksplorasi timah.

Diyakini bahwa spasi lubang bor optimum ini akan berbeda antara endapan yang masih insitu dengan zona tailing (atau SHP) atau pada wilayah operasi zaman Belanda, oleh PT Timah, oleh Mitra maupun oleh rakyat.

D. KESIMPULAN

Selain mineral pembawa timah, pada endapan plaser yang berasal dari mineralisasi batuan granit terdapat juga Mineral Ikutan Timah (MIT) pembawa Rare Earth Element (REE) atau Logam Tanah Jarang (LTJ) berupa ilmenite, rutile, xenotime, monzonite, dan zirkon.

Karena mineral-mineral pembawa REE atau LTJ ini merupakan MIT, maka karakteristik fisik dari MIT menjadi sangat penting untuk diketahui dan dipelajari. Oleh sebab itu rancangan konsep awal serta identifikasi parameter sangat penting untuk diidentifikasi pada perancangan kegiatan eksplorasi.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah alat yang digunakan, preparasi, dan pemilihan pengolahan data, variabilitas hasil analisis kadar pada variasi lokasi dan jenis sampel.

Mengingat yang menjadi target eksplorasi adalah mineral pembawa timah, maka perlu dilakukan juga kajian khusus sehubungan optimasi spasi bor untuk timah dan mineral ikutan pembawa REE yang dihubungkan dengan variasi-variasi lokasi endapannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Timah Tbk. yang telah memberikan dukungan dalam bentuk diskusi dan dataset dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alastair J. Sinclair and Garston H. Blackwell (2006): *Applied Mineral Inventory Estimation.*, Cambridge.
- Anthony M. Evans. (1993): *Ore geology and Industrial Minerals (An introduction)*, Blackwell Science Ltd.
- Arie Naftali Hawu Hede, Teti Indriati, Syafrizal, Komang Anggayana, dan Marshel Emmanuelle Tampah (2017) *Mineralization of Tungsten and Rare Earth Elements in Granite Varieties at the Tikus Deposit of the Tanjungpandan Pluton, Belitung, Indonesia.*, International Symposium on Earth Science and Technology.
- Arie Naftali Hawu Hede, Muhammad Anugrah Firdaus, Yogi La Ode Prianata, Mohamad Nur Heriawan, Syafrizal, Heri Syaeful, Ichwan Azwardi Lubis (2019): *Spektroskopi Reflektansi Sampel Tanah dan Batuan yang Mengandung Mineral Pembawa Unsur Tanah Jarang dan Radioaktif.* Eksplorium, Volume 40 No. 2, November 2019: 89–98.
- Cobbing, E. J., Mallick, D. I. J., Pitfield, P. E. J., dan Teoh, L. H. (1986): *The Granites of Southeast Asian Tin Belt*, *Journal of Geological Society*, 143, 537–550.
- Humphries, M. (2013): *Rare earth elements: The global supply chain*, *Rare Earth Minerals: Policies and Issues*, 1–20.
- Syafrizal, Indriati, T., Anggayana, K., Hede, A. N. H., dan Muhammad, A. (2017): *Mineralogical Analyses as a Preliminary Assessment of Rare Earth Elements on Placer Deposits in Belitung Island, Indonesia*, International Symposium on Earth Science and Technology.
- Syafrizal, Amertho, S. D., Azwardi, I., Indriati, T., Nabilla, A. O., Suharjo, E. G. W., dan Hede, A. N. H. (2019a): *Karakterisasi Mineral Ikutan Timah pada Endapan Primer, Sekunder, dan Tailing di Bangka Selatan dan Belitung.* *Prosiding TPT XXVIII Perhapi 2019*, 807-816.
- Syafrizal, Pradana, A. S., Amertho, S. D., Azwardi, I., Heriawan, M. N., dan Hede, A. N. H. (2019b): *Studi Distribusi Mineral Ikutan Timah (MIT) untuk Mendukung Metoda Penanganan Sampel pada Kegiatan Eksplorasi.* *Prosiding TPT XXVIII Perhapi 2019*, 797-806.
- Schwartz, M.O. and Surjono (1991), *The Pemali tin deposit, Bangka, Indonesia.*, *Mineralium Deposita* 26, 18-25.
- Schwartz, M. O., Rajah, S. S., Askury, A. K., Putthapiban, P., dan Djaswadi, S. (1995): *The Southeast Asian tin belt*, *Earth Science Reviews*, 38(2–4), 95–293.
- Teti Indriati, Syafrizal, Komang Anggayana, Arie Naftali Hawu Hede, and Abed Nego Simamora., *Geochemical Dispersion Pattern Identification of Rare Earth Elements (REE) and Tungsten in Soil at the Tikus Deposit, Sijuk District, Belitung Regency, Bangka Belitung Islands Province.*, International Symposium on Earth Science and Technology.