

KARAKTERISASI MINERAL IKUTAN TIMAH PEMBAWA REE DI BANGKA SELATAN DAN BADAU, PROVINSI KEPULAUAN BANGKA BELITUNG

Syafrizal^{1,*}, Arie Naftali Hawu Hede¹, Andy Yahya Al Hakim¹, Rudy Fernando Sihite²

¹Kelompok Keahlian Eksplorasi Sumberdaya Bumi, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

²Program Studi Pascasarjana Rekayasa Pertambangan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung
e-mail: *syafrizal@mining.itb.ac.id

ABSTRAK

Pluton granit di daerah Bangka Belitung merupakan sumber penghasil timah terbesar di Indonesia. Selain mineral timah dalam bentuk kasiterit, batuan ini juga menghasilkan mineral ikutan timah (MIT) termasuk mineral pembawa *Rare Earth Elements* (REE) seperti monasit, xenotim, dan zirkon. Seiring dengan kebutuhan REE yang semakin meningkat dan nilai ekonomis yang tinggi, mendorong untuk dapat dilakukannya konservasi mineral pembawa REE termasuk di Indonesia saat ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik mineral pembawa REE yang terkait dengan MIT. Untuk keperluan tersebut, sebanyak 51 sampel diambil dari daerah Bangka Selatan di Pulau Bangka dan Badau di Pulau Belitung, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang terdiri dari endapan primer, endapan sekunder, konsentrat, dan sisa hasil pengolahan (SHP). Karakteristik dan kehadiran MIT pembawa REE diamati menggunakan mikroskop polarisasi dan analisis *X-ray diffraction* (XRD). Pengamatan mikroskopi menunjukkan bahwa kehadiran monasit yang memiliki warna kekuningan dan zirkon yang memiliki refleksi dalam yang transparan. Analisis XRD menunjukkan bahwa mineral yang paling dominan ditemui pada hampir keseluruhan sampel adalah kuarsa, sedangkan MIT pembawa REE lebih banyak dijumpai pada konsentrat dan SHP. MIT pembawa REE yang umumnya hadir dalam sampel adalah monasit, zirkon, dan sedikit xenotim, selain itu mineral besi oksida juga hadir dalam jumlah cukup besar sebagai ilmenit.

Kata-kata kunci: *rare earth elements*, mineral ikutan timah, monasit, zirkon.

PENDAHULUAN

Rare Earth Elements (REE) yang merupakan grup dari 17 logam berat yang terdiri dari Sc, Y, dan grup Lantanida menjadi hal yang menarik untuk didiskusikan bagi banyak orang saat ini. Hal ini dikarenakan banyak aspek dari kehidupan modern membutuhkan material REE. Secara spesifik kegunaan REE antara lain sebagai bahan baku magnet, baterai, kaca, pemoles, katalis, dan lainnya [1]. Situasi ini menyebabkan peningkatan kebutuhan dari REE. Pada saat ini, Republik Rakyat Tiongkok (RRT) merupakan negara paling mendominasi di pasar REE dunia dengan telah memproduksi 133.000 ton *rare earth oxides* (REO), angka ini menjadikan RRT menguasai 97% bagian dari pasar dunia [2]. Dengan pertimbangan politik, ekonomi, dan pemerintahan, RRT menurunkan produksi dan kuota ekspor, dan mengutamakan penggunaan REE dalam negeri [2]. Hal ini mengakibatkan peningkatan secara signifikan terhadap harga dari REE [3]. Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengeluarkan Peraturan Menteri ESDM No. 25 tahun 2018 yang salah satunya mengatur pengolahan produk samping timah yang berupa mineral pembawa REE [4].

Mineral pembawa REE umumnya terbentuk bersamaan dengan oksigen dalam bentuk posfat, silikat, atau karbonat-fluorid [5]. Terdapat tiga mineral utama mengandung REE yang dapat diekstrak secara ekonomis pada saat ini. Mineral tersebut adalah monasit, xenotim, dan basnasit. Mineral ini umumnya muncul pada granit, pegmatit, karbonatit, dan perovskit [6]. Di Indonesia, terdapat sabuk granit Asia Tenggara yang memanjang lebih dari 3000 km dari Myanmar, Thailand, Malaysia, Singapura, dan Indonesia [7, 8]. Pluton granit ini menghasilkan bijih timah dan mineral ikutan timah (MIT) yang mengandung REE [7]. Di area Bangka Belitung,

pelapukan dari granit menghasilkan timah aluvial yang di dalamnya mengandung MIT termasuk mineral pembawa REE seperti monasit, xenotim, dan zirkon. Proses konsentrasi dari bijih timah akan menghasilkan *tailing* yang dikenal sebagai sisa hasil pengolahan (SHP) yang masih mengandung mineral pembawa REE. Umumnya SHP mengandung 99% kuarsa dan 1% mineral lainnya termasuk monasit dan xenotim [9]. Di Kalimantan Barat, zirkon dan ilmenit juga muncul sebagai mineral asosiasi pada endapan emas aluvial [10, 11].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik MIT pembawa REE khususnya untuk sampel yang berasal dari Bangka Selatan dan Badau, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Untuk mengetahui keterdapatan dan karakteristik MIT pembawa REE pada sampel digunakan analisis mikroskopi dan *X-ray diffraction* (XRD). Hasil analisis XRD juga diharapkan dapat memberikan informasi bagaimana pola keterdapatannya dari hulu hingga hilir pada pengolahan. Penelitian ini juga diharapkan dapat membantu instansi terkait dalam melakukan konservasi dan pengolahan dari mineral bijih timah beserta ikutannya. Hasil penelitian juga diharapkan dapat membantu pihak pemerintah dalam menentukan kebijakan dan menyusun strategi manajemen sumberdaya untuk menghadapi pasar masa mendatang demi memberikan kontribusi besar bagi pembangunan suatu negara.

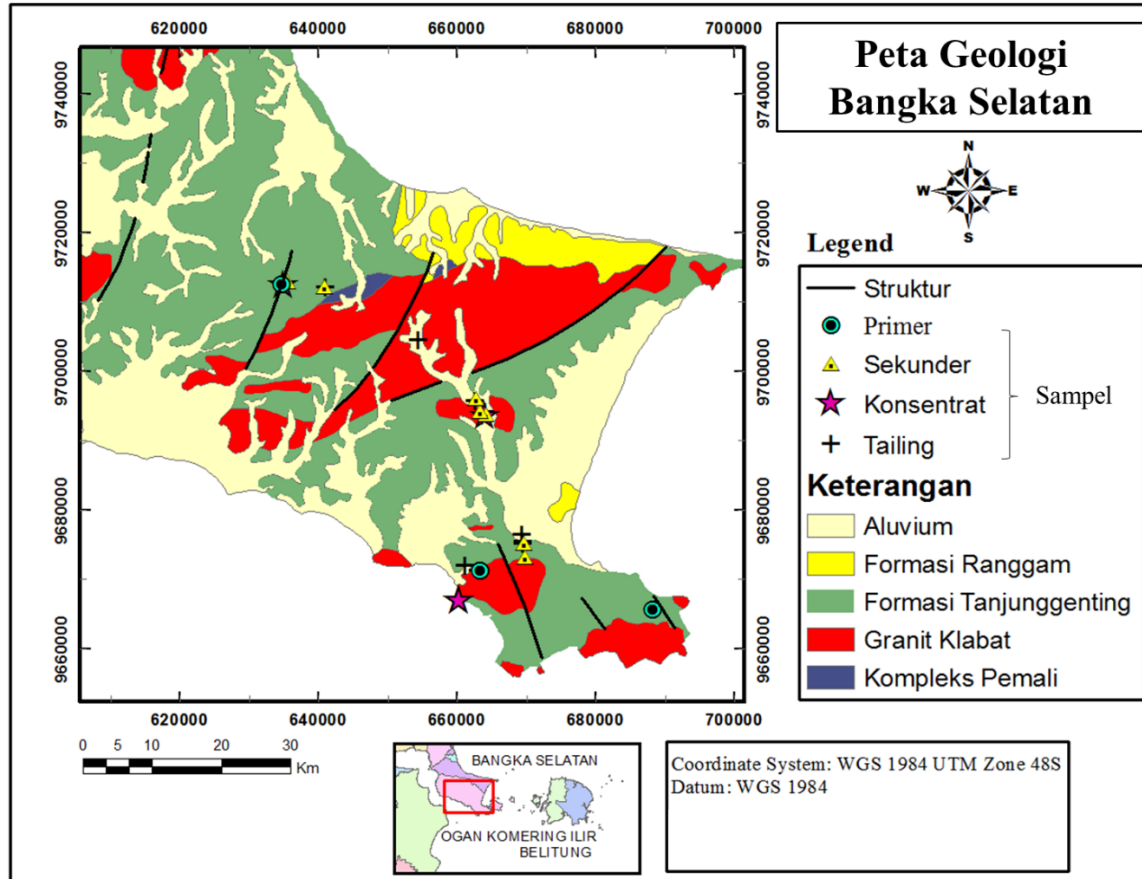
GEOLOGI REGIONAL

Geologi Regional Bangka

Pulau Bangka merupakan bagian dari sabuk granit atau sabuk timah. Formasi ini menghasilkan daerah Bangka kaya akan mineral utama kasiterit dengan kualitas yang baik. Secara geologis, sebagian besar Pulau Bangka terdiri

dari batuan beku termasuk granit, granodiorit, adamelit, diorit, dan diorit kuarsa. Ada dua jenis granit: granit tipe-I (*igneous*) dan granit tipe-S (*metasedimentary*) [7, 12]. Susunan batuan di Bangka Selatan paling muda yaitu endapan aluvium. Urutan batuan dari muda ke tua adalah; satuan endapan Aluvium (Qa), satuan batuan Formasi Ranggam (TQr), satuan batuan Formasi Tanjung Genting (Trt), Granit Klabat (TrJk), dan Kompleks Malihan Pemali

(CPp) (Gambar-1). Secara fisiografi Pulau Bangka merupakan pulau terbesar dalam Paparan Sunda (*Sundaland*) dan merupakan Sunda Peneplain, dicirikan oleh daerah berbukit dengan ketinggian batuan dasar yang membatasi Cekungan Sumatra Selatan di bagian timur dan Cekungan Sunda di bagian utara, Pulau Bangka termasuk *tin islands*, terletak pada *Sundaland Craton Lempeng Eurasia* [13].



Gambar-1 Peta geologi regional daerah sekitar pengambilan sampel Bangka Selatan [14]

Geologi Regional Belitung

Pulau Belitung merupakan salah satu bagian yang terangkat dari Paparan Sunda. Basement Pulau Belitung tersusun oleh batu pasir, batu serpih, dan *chert*, yang terbentuk pada Karboniferus sampai Permian Bawah [15]. Formasi ini kemudian diterobos oleh batuan gabro hingga granit plutonik pada masa Trias [16]. Di Pulau Belitung terdapat intrusi terbesar Pluton Tanjungpandang dengan luas sekitar 900 km². Batu granit biotit berbutir sedang dengan kristal k-felspar besar mendominasi formasi ini. Endapan aluvial menjadi tempat konsentrasi mineral kasiterit pada saat periode erosi Neogen dan Kuartar. Salah satu endapan paling penting pada daerah Pluton Tanjungpandang ini adalah endapan Tikus [17]. Sedangkan satuan formasi batuan yang ada di daerah Badau Belitung terdiri dari Formasi Kelapakampit (PCKs), Formasi Tajam (PCTm), Granit Tanjungpandan Pasir Berkarbon (Qpk) dan Endapan Aluvial dan Pantai (Qa) (Gambar-2). Daerah Granit Tanjungpandan merupakan *host* atau sumber bagi banyak konsentrasi kasiterit aluvial bernilai ekonomis yang

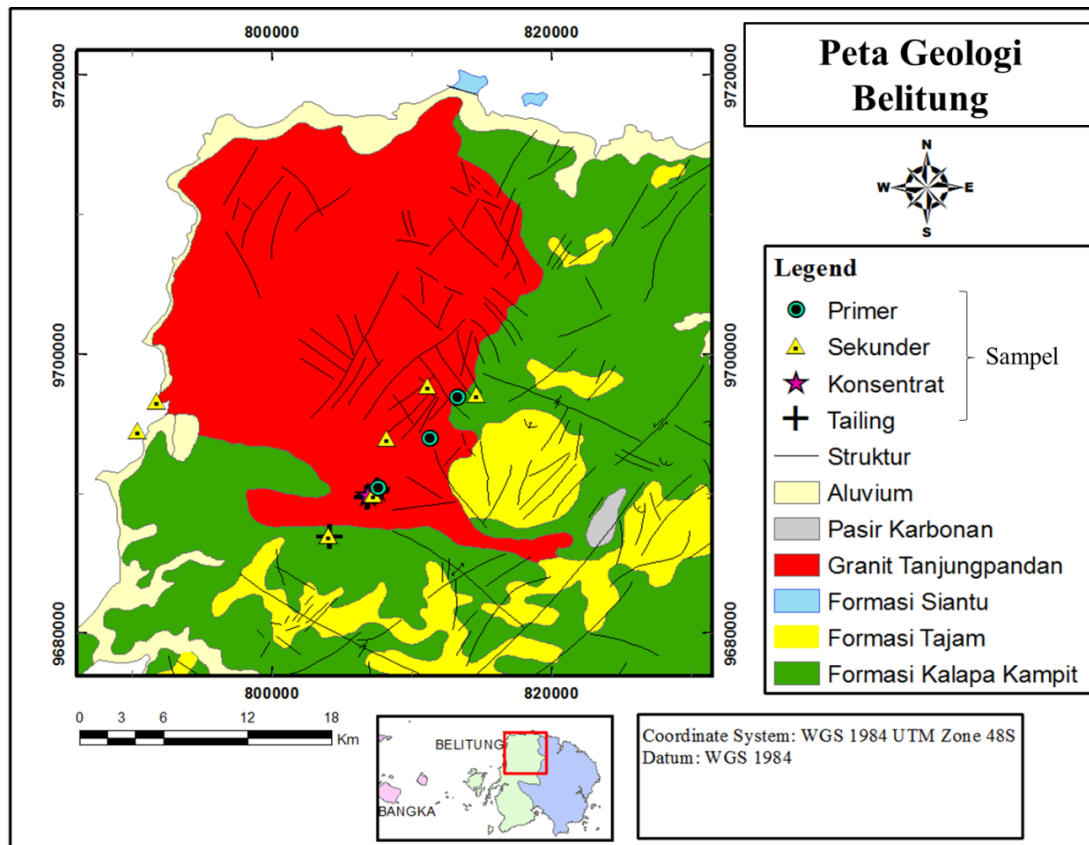
terdapat di beberapa lembah besar dan salah satunya adalah Badau.

METODOLOGI

Sampling

Sampel yang digunakan berasal dari dua daerah dalam konsensi Ijin Usaha Pertambangan PT Timah di Bangka Selatan dan Badau, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Jumlah sampel yang diambil sebanyak 51 sampel yang terdiri dari sampel primer, sekunder, konsentrat dan SHP. Sampel primer diambil dari batuan granit menggunakan metode *chip sampling* dengan bantuan palu geologi batuan beku.

Pengambilan sampel untuk endapan sekunder, konsentrat, dan SHP menggunakan metode *grab sampling*. Sampel sekunder dan SHP didominasi oleh pasir kuarsa dan konsentrat didominasi oleh kasiterit. Sampel kemudian akan dipreparasi dan sebagian disimpan sebagai arsip. Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Pengolahan Bahan Galian Institut Teknologi Bandung.



Gambar-2 Peta geologi regional daerah sekitar pengambilan sampel Badau, Belitung [18]

Analisis Mikroskopis

Analisis mikroskopis menggunakan mikroskop polarisasi, yang dilakukan di Laboratorium Economic Geology, Akita University, Jepang. Dilakukan *mounting* menggunakan resin untuk sampel yang berbentuk butiran mineral. Ukuran butiran sampel yang dilakukan pengamatan mikroskopis adalah fraksi -65 +100 *mesh* dan -100 *mesh*. Fraksi tersebut digunakan berdasarkan perhitungan kadar MIT terbanyak dari penelitian sebelumnya [19–21].

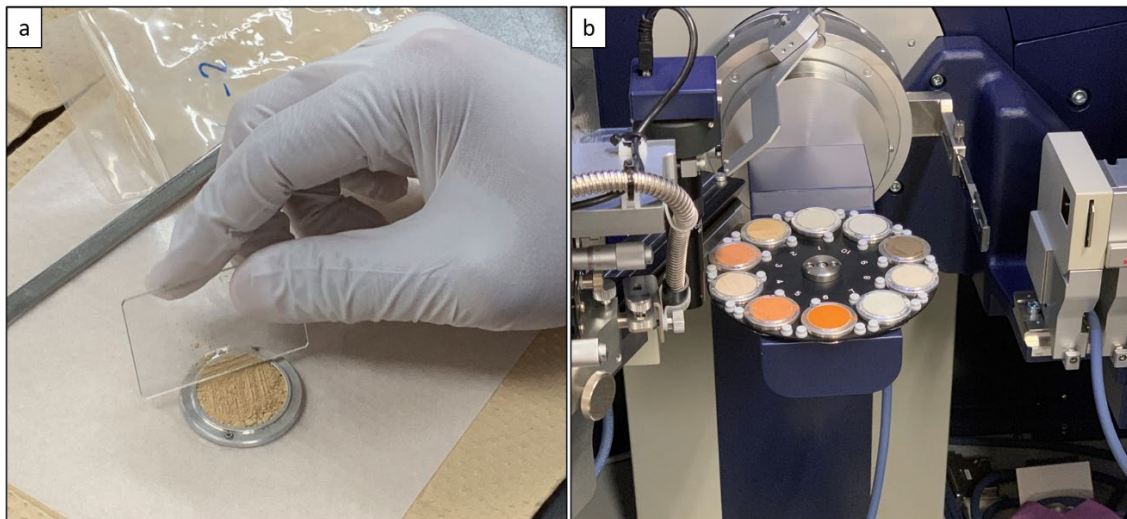


Gambar-3 Sampel poles untuk analisis mikroskopi

Sampel yang telah di-*mounting* ini kemudian dipoles menggunakan mesin poles dengan kaca yang ditaburi bubuk korundum berukuran 3000 *mesh* dan diberi sedikit air. Setelah itu sampel dibersihkan kemudian direndam dan digetarkan menggunakan gelombang ultrasonik selama kurang lebih 10 menit untuk menghilangkan bubuk korundum yang menempel pada bidang poles. Lalu dilakukan pemolesan kedua menggunakan *plate diamond* yang diberikan pasta selama kurang lebih 15 menit dan kemudian kembali dibersihkan dengan cara direndam dan digetarkan dengan ultrasonik. Pengamatan mikroskopi sampel poles ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik optis dari mineral pada sampel (Gambar-3).

Analisis XRD

Analisis XRD menggunakan alat Rigaku XRD dengan fase 2-theta (2θ) 2–65° di Laboratorium *Economic Geology*, Akita University, Jepang. Sebanyak 50 sampel dianalisis dengan rincian 28 sampel berasal dari Bangka Selatan dan 22 sampel Badau. Sampel yang digunakan adalah sampel bubuk hasil dari milling yang kemudian diletakkan kedalam cincin besi sebagai sampel *holder* (Gambar-4). Analisis XRD dilakukan untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat dalam sampel. Dalam interpretasinya, mineral yang menjadi target adalah kuarsa, kasiterit, ilmenit, rutil, zirkon, monasit, dan xenotim.



Gambar-4 Ilustrasi analisis XRD (a: persiapan sampel ke dalam plat besi; b: 10 sampel *holder* yang akan dianalisis)

HASIL DAN DISKUSI

Pengamatan Mikroskop

Pengamatan sampel yang digunakan untuk analisis mikroskop khususnya adalah sampel berjenis konsentrat dimana pemilihan sampel tersebut berdasarkan hasil dari *grain counting* pada penelitian sebelumnya [20, 21]. Gambar-5 memperlihatkan fotomikrograf dari sampel dimana deskripsi mineral yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

- Monasit: memiliki warna kekuningan, keabuan, atau kecokelatan. Monasit memiliki bentuk yang subhedral dengan belahan yang tidak jelas. Dalam skala mohs, monasit memiliki kekerasan 5–5,5, dengan densitas 5,05. Berdasarkan pengamatan nikol silang, butiran monasit menunjukkan warna refleksi dalam putih kekuningan. Monasit memiliki ukuran butir dari 100–200 μm .
- Zirkon: memiliki warna keabu-abuan hingga putih, dengan kilap *adamantine*. Pada pengamatan nikol silang, zirkon menunjukkan refleksi dalam yang transparan dengan sedikit warna merah atau kekuningan. Pada sampel Bangka Selatan terlihat bahwa zirkon memiliki permukaan yang tidak rata dan banyak retakan. Berbanding terbalik dengan zirkon di Belitung memiliki bentuk yang lebih baik atau subhedral. Mineral ini memiliki ukuran butir dari 100–250 μm . Dalam skala mohs, zirkon memiliki kekerasan 6,5–7, dengan densitas mineral sebesar 4,68.
- Ilmenit: merupakan mineral opak, sehingga pada nikol silang tidak memperlihatkan refleksi dalam. Ilmenit memiliki warna putih keabuan hingga abu tua. Ilmenit di Bangka Selatan memperlihatkan sedikit adanya zoning dengan perbedaan warna gelap dan terangnya. Bentuk dari ilmenit cenderung membulat dengan sudut tidak teratur. Dalam skala mohs mineral ini memiliki kekerasan antara 5–6, dengan densitas sebesar 4,72. Berdasarkan pengamatan, ilmenit memiliki ukuran bervariasi dari 150–300 μm .

Interpretasi XRD

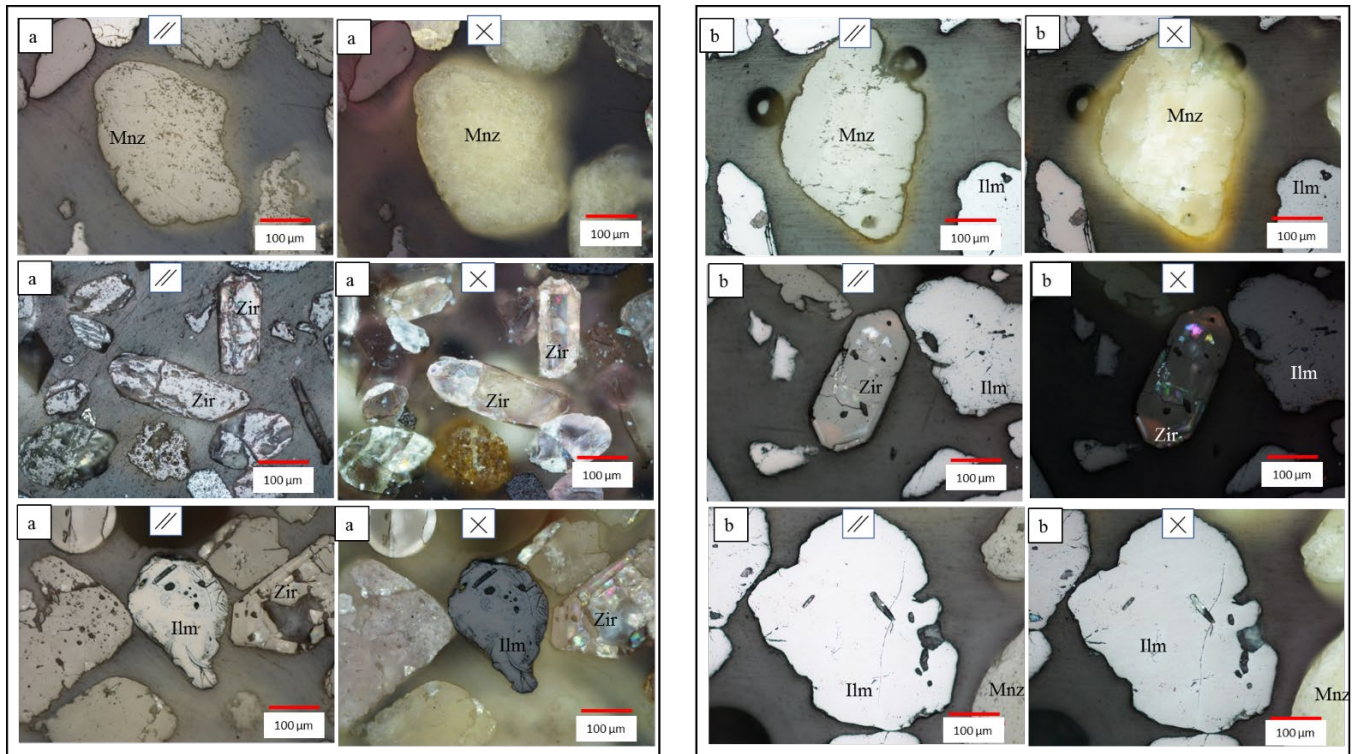
Interpretasi XRD dilakukan secara manual dengan mencocokkan nilai d (jarak kisi) hasil analisis dengan *database* yang berasal dari XRD-card dan website

<https://ruff.info/>. *Peak* difraktogram yang dihasilkan oleh analisis XRD tidak selalu bagus dimana beberapa sampel, hasil analisis menghasilkan *noise* atau *background* yang cukup tinggi. *Background* yang tinggi ini akan menyulitkan untuk dilakukan interpretasi secara manual. Hal ini juga dapat mengakibatkan kesalahan interpretasi mineral yang muncul pada sampel.

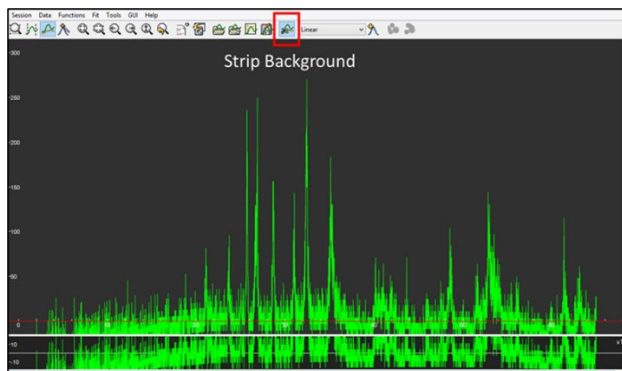
Kemunculan *noise* atau *background* yang tinggi dapat disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya adalah adanya penurunan penetrasi yang diberikan oleh alat XRD. Penurunan penetrasi ini dapat disebabkan oleh sampel yang memiliki kandungan mineral besi yang cukup banyak [22]. Pengolahan hasil analisis yang memiliki *background* tinggi ini dapat dengan melakukan *smoothing* atau *filtering*. Tools yang digunakan untuk *smoothing* ini adalah *software open source* Fityk [23].

Proses *smoothing* menggunakan *software* Fityk diawali dengan input data hasil XRD yang berformat text (.txt). Setelah data dimasukan maka grafik difraktogram akan muncul di layar kerja dan kemudian dilakukan penentuan titik-titik yang akan membentuk garis menggunakan fitur *baseline*. Garis ini akan memotong grafik sebagai batas untuk *background*. Pemotongan grafik dilakukan menggunakan fitur *strip background* (Gambar-6). Pada penelitian ini umumnya batas *background* yang digunakan berkisar antara intensitas 25–30 cps. Difraktogram tersebut kemudian dilakukan *fitting* peak dengan mode *Add Peak*. Pada penelitian ini, fungsi yang digunakan adalah *Pseudo-Voight* [24, 25]. *Pseudo-Voight* merupakan *sum* dari fungsi *Gaussian* dan *Lorentzian* [26]. Lalu ditambahkan *peak* secara manual pada area yang dianggap sebagai *peak*. Selain penentuan *peak* secara manual, dilakukan juga penentuan secara otomatis khususnya pada *peak* utama dengan intensitas yang tinggi dengan menggunakan fitur *auto-add*.

Setelah semua *peak* telah ditambahkan, maka dipilih *Start Fitting* untuk menjalankan fungsi algoritma. Fungsi tersebut akan membentuk model dari *peak* yang dihasilkan. Hasil dari model tersebut di-export untuk interpretasi mineralnya. Perbedaan antara data awal dan hasil dari *smoothing/fitting* dapat dilihat pada Gambar-7.



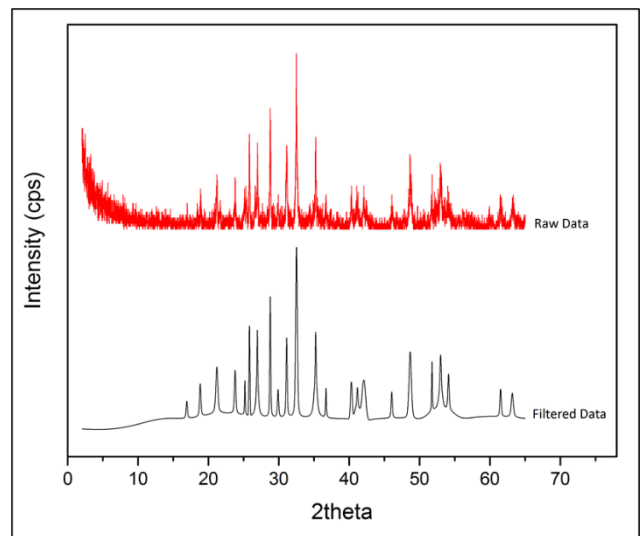
Gambar-5 Fotomikrografi (a) sampel Bangka Selatan dan (b) sampel Badau yang memperlihatkan butir mineral Mnz: monasit; Zir: zirkon; dan Ilm: Ilmenit dalam posisi nikol sejajar (//) dan nikol silang (X)



Gambar-6 Hasil penentuan *background* menggunakan fitur *strip background* pada software Fityk

Pola dari *peak* XRD untuk sampel primer, aluvial, dan SHP memiliki pola yang relatif sama dengan intensitas yang berbeda. Pola ini menunjukkan adanya mineral kuarsa yang lebih dominan dari mineral lainnya. SHP sebagai hasil sampingan proses konsentrasi langsung di lokasi tambang dapat memiliki kandungan mineral kuarsa lebih dari 90% [27]. Pada sisi lain, pola difraktogram untuk sampel konsentrat memiliki pola yang berbeda dengan jenis sampel lain. Hal ini dapat disebabkan oleh mineral besi oksida seperti ilmenit karena kandungan besi pada sampel dapat mengakibatkan intensitas *peak* berkurang dan penetrasi sinar X yang rendah [22].

MIT yang menjadi target analisis XRD adalah monasit, xenotim, zirkon, ilmenit, dan rutil dimana mineral pembawa REE utama adalah monasit dan xenotim. Sedangkan zirkon meski bukan mineral utama pembawa REE tetapi umumnya zirkon dianggap sebagai mineral minor REE dikarenakan dapat terjadi substitusi antara unsur Zr dengan REE [28]. Mineral ilmenit dan rutil merupakan mineral besi oksida yang memiliki nilai ekonomis tinggi.

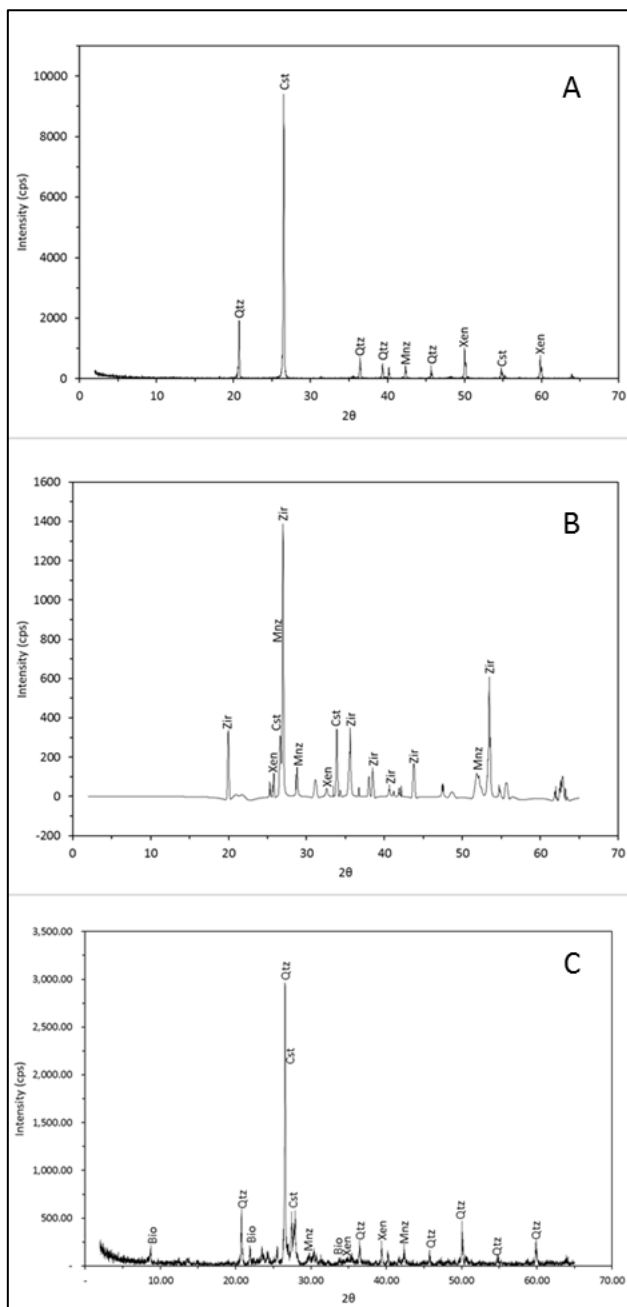


Gambar-7 Perbandingan grafik XRD sebelum dan sesudah di-smoothing

Gambar-8 menunjukkan hasil analisis XRD dimana hasil interpretasi sampel menunjukkan bahwa MIT sangat sulit diidentifikasi pada sampel batuan primer dan aluvial. Pada jenis-jenis sampel ini lebih didominasi oleh mineral kuarsa yang memiliki intensitas sangat tinggi. Pada sampel konsentrat juga ditemukan adanya kuarsa yang mengindikasikan bahwa proses pengolahan belum sempurna. Kehadiran mineral kuarsa dengan jumlah yang tinggi akan mengakibatkan kesulitan alat XRD untuk membaca mineral yang kadarnya lebih rendah.

Dari hasil analisis mikroskopi dan XRD memberikan gambaran bahwa proses pengendapan dengan sortir lebih baik dan tertransportasi jauh dari sumber (granit) akan mengakibatkan MIT lebih banyak hadir pada aluvial, konsentrat, dan SHP dalam bentuk butiran yang

sudah lepas. MIT yang paling dominan hadir adalah monasit dan zirkon, dengan kehadiran xenotim dan ilmenit di beberapa sampel.



Gambar-8 Hasil analisis XRD (A. Aluvial Bangka Selatan, B. Konsentrat Bangka Selatan, dan C. Primer Badau) memperlihatkan kehadiran mineral Qtz: kuarsa, Mnz: monasit, Cst: kasiterit, Xen: xenotim, Bio: biotit, dan Zir: zirkon

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis mikroskopis dan XRD dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Mineral ikutan timah pembawa REE yang umumnya muncul adalah zirkon dan monasit. Sedangkan xenotim ditemukan dalam jumlah yang sedikit atau minor. MIT lainnya juga hadir dalam bentuk besi oksida sebagai ilmenit.
2. Mineral kuarsa adalah mineral pengotor yang memiliki konsentrasi tertinggi. Kuarsa hadir di seluruh sampel dari primer, sekunder, SHP, dan konsentrat.

3. Kehadiran MIT di konsentrat dengan jumlah yang tinggi menjadi indikasi dapat dilakukan pengolahan untuk memperoleh MIT pembawa REE pada konsentrat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada pihak PT Timah (Persero) Tbk. atas dukungan finansial dan akses di lapangan pada penelitian ini. Terima kasih juga kepada Laboratorium Economic Geology, Akita University, Jepang yang telah memberi akses untuk analisis XRD

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Goodenough, K. M., Wall, F., dan Merriman, D. 2018. The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations. *Natural Resources Research*. vol 27. Springer US. 201–216.
- [2] Weng, Z, Jowitt, S. M., Mudd, G. M., dan Haque, N. 2015. A detailed assessment of global rare earth element resources: Opportunities and challenges. *Economic Geology*. vol 110. 1925–1952.
- [3] Humphries, M. 2013. Rare earth elements: The global supply chain. *Rare Earth Minerals: Policies and Issues*. 1–20.
- [4] Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2018. *Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*. Vol. No. 25.
- [5] Zepf, V. 2013. Rare Earth Elements: What and Where They Are. In *Rare Earth Elements: A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use*., 11–38.
- [6] Jordens, A., Cheng, Y. P., dan Waters, K. E. 2013. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals. *Minerals Engineering*. vol 41. Elsevier Ltd. 97–114.
- [7] Ng, S. W. P., Whitehouse, M. J., Roselee, M. H., Teschner, C., Murtadha, S., Oliver, G. J. H., Ghani, A. A., dan Chang, S. C. 2017. Late Triassic granites from Bangka, Indonesia: A continuation of the Main Range granite province of the South-East Asian Tin Belt. *Journal of Asian Earth Sciences*. vol 138. 548–561.
- [8] Schwartz, M. O., dan Sutjono. 1991. The Pemali tin deposit, Bangka, Indonesia. *Mineralium Deposita*. vol 26. 18–25.
- [9] Szamalek, K., Konopka, G., Zglinicki, K., dan Marciniak-Maliszewska, B. 2013. New potential source of rare earth elements Introduction. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi / Mineral Resources Management*. vol 29. 59–76.
- [10] Soepriadi, Budiharyanto, K., dan Widi, B. N. 2014. Prospeksi Unsur Tanah Jarang (Rare Earth Elements) Daerah Kacang Butor dan Sekitarnya, Kecamatan Badau, Kabupaten Belitung, Provinsi Bangka Belitung vol 6. 1–14.

- [11] Handoko, A. D., dan Sanjaya, E. 2018. Characteristics and genesis of Rare Earth Element (REE) in western Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. vol 118.
- [12] Cobbing, E. J. 2005. Granite. In B. A. J, C. M. J, & M. and J.S, Sumatra. *Geology, Resources and Tectonic Evolution*. 31.
- [13] Barber. 2005. Tectonic Evolution. In A. J. Barber, M. J. Crow, & J. S. Milsom, Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution. *Geology Society Memoir*. 234–257.
- [14] Margono, Supandjono, U., dan Partoyo. 1995. *Peta Geologi Lembar Bangka Selatan*. Bandung.
- [15] Osberger, R. 1965. *On the Geology of the Indonesian Part of the Great Southeast Asian Tin Girdle*.
- [16] Jones, M. T., Reed, B. L., R., Doe. B., dan Lanphere, M. A. 1977. Age of Tin Mineralization and Plumbotectonics, Belitung, Indonesia. *Economic Geology*. vol 72. 745–752.
- [17] Schwartz, M. O., dan Surjono. 1990. Greisenization and albitization at the Tikus tin-tungsten deposit, Belitung, Indonesia. *Economic Geology*. vol 85. 691–713.
- [18] Baharuddin dan Sidarto. 1995. *Peta Geologi Lembar Belitung, Sumatera*. Bandung.
- [19] Syafrizal, Amertho, S. D., Azwardi, I., Indriati, T., Nabilla, A. O., Suharjo, E. G. W., dan Hede, A. N. H. 2019. Karakterisasi Mineral Ikutan Timah Pada Endapan Primer, Sekunder, Dan Tailing Di Bangka Selatan Dan Belitung. *TPT XXVIII PERHAPI*.
- [20] Oza, A. 2019. Karakterisasi Mineral Ikutan Timah Pada Endapan Primer, Sekunder, Dan Tailing Di Bangka Selatan. Institut Teknologi Bandung.
- [21] Suharjo, E. G. W. 2019. Studi Karakteristik Dan Genesa Potensi Rare Earth Element Dan Mineral Ikutan Timah Pada Endapan Primer, Sekunder, Sisa Hasil Pengolahan (SHP) Serta Konsentrat di Kecamatan Badau, Kabupaten Belitung, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Institut Teknologi Bandung.
- [22] Mos, Y. M., Vermeulen, A. C., Buisman, C. J. N., dan Weijma, J. 2018. X-Ray Diffraction of Iron Containing Samples : The Importance of a Suitable Configuration X-Ray Diffraction of Iron Containing Samples : The Importance of a Suitable. *Geomicrobiology Journal*. vol 35. Taylor & Francis. 511–517.
- [23] Yahya, A. 2017. Genesis of orogenic gold in the Latimojong district, South Sulawesi, Indonesia.
- [24] Yahya, A. 2019. Curve fitting dengan freeware Fityk.
- [25] Wojdyr, M. 2010. Fityk : a general-purpose peak fitting program. *Journal of Applied Crystallography*. vol 43. International Union of Crystallography. 1126–1128.
- [26] Wojdyr, M., Gierlotka, S., Folmer, J., dan Richardson, M. 2018. *Fityk manual*. 1.3.1. Fityk.
- [27] Purwadi, I., Herald, V. D. W., dan Lievens, C. 2019. Reflectance spectroscopy and geochemical analysis of rare earth element-bearing tailings: A case study of two abandoned tin mine sites in Bangka Island, Indonesia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. vol 74. 239–247.
- [28] Voncken, J. H. L. 2016. *The Rare Earth Elements, An Introduction*. Delft: Springer.