

POTENSI DEPOSIT WOLFRAM DI INDONESIA: STUDI KASUS TOBOALI - BANGKA SELATAN

Wolfram Deposit In Indonesia: Case Study of Toboali - South Bangka

IMELDA E. R. HUTABARAT^{1*}, SABBANTO J. SUPRAPTO^{1**}, PRIATNA^{1**}, MARYONO^{2**}, dan RUDIYANSAH^{1**}

¹ Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung

Jl. Jenderal Sudirman no 623 Bandung 40211

² Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara (tekMIRA)

Jl. Jenderal Sudirman no 623 Bandung 40211

Korespondensi e-mail : imelda.hutabarat@esdm.go.id

*Kontributor Utama, **Kontributor Anggota

ABSTRAK

Pulau Bangka merupakan salah satu pulau pada jalur Sabuk Timah Asia Tenggara yang membuat Indonesia menjadi produsen timah (Sn) terbesar di dunia. Mineral pembawa wolfram merupakan mineral ikutan dari mineral timah (kasiterit). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari keberadaan dan jenis mineral pembawa wolfram pada deposit timah di Pulau Bangka. Area penelitian dilakukan di tepi timur Granit Klabat di Desa Kepoh, Kecamatan Toboali, Bangka Selatan, pada koordinat 106° 31' 58" BT, 2° 56' 56" LS. Penelitian menunjukkan keberadaan wolfram dengan informasi kadar wolfram pada urat mencapai 8287 ppm. Keberadaan wolfram ini teridentifikasi sebagai mineral ikutan pada sistem mineralisasi timah di Toboali bersama dengan logam tanah jarang (LTI), molibdenum (Mo) dan platinum (Pt). Hasil penelitian analisis (UV, XRF, ICP OES, mineragrafi) pada mineral area Toboali menunjukkan keberadaan wolfram dalam bijih, konsentrat, terak, dan kerak lantai. Mineral pembawa wolfram yang diidentifikasi adalah *wolframite* (Fe.Mn)WO₄ dan *scheelite* (CaWO₄) yang dikarakterisasi melalui perbedaan sifat seperti warna, fluoresensi, magnetik, dan berat jenis. Hasil yang diperoleh menunjukkan keterdapatannya wolfram pada bijih area Toboali dengan kadar 742 ppm dan juga pada proses timah yaitu pada terak II sebesar 1,02 %. Selain itu wolfram terindikasi pada kerak lantai *furnace* dan pada lumpur anoda. Indonesia sebagai salah satu negara pemilik mineral wolfram perlu melakukan kelanjutan proses ekstraksi wolfram sehingga Indonesia mendapat nilai tambah dari mineralnya.

Kata kunci: deposit, Toboali, *scheelite*, *wolframite*, wolfram

ABSTRACT

Bangka island is one of the islands in the Southeast Asian Tin Belt that makes Indonesia the largest tin (Sn) producer in the world. The carrier of wolframite is a by product mineral of the mineral tin (cassiterite). This study aims to study the presence and type of wolfram-as by product in the tin deposits on Bangka island. The research area was conducted on the eastern edge of Klabat Granite in Kepoh Village, Toboali District, South Bangka, at coordinates of 106° 31' 58" BT, 2° 56' 56" LS. The result shows the presence of wolfram with grade of wolfram in veins reaching 8287 ppm. Wolfram was identified as an associated mineral in the tin mineralization system in Toboali along with rare earth metals (LTI), molybdenum (Mo) and platinum (Pt). The results of analytical studies (UV, XRF, ICP OES, mineragraphy) on Toboali area minerals show the presence of wolfram in ores, concentrates, slag, and floor crusts. The identified wolfram minerals are wolframite (Fe.Mn)WO₄ and scheelite (CaWO₄) which are characterized through differences in properties such as color, fluorescence, magnetic, specific gravity and hardness values. The results obtained showed the presence of wolfram in Toboali area with wolfram content of 742 ppm in ore and also in the tin process, specifically in slag II of 1.02%. In addition, wolfram is indicated on the furnace floor and on the anode slime. Indonesia as one of the countries that owns wolfram minerals needs to continue the wolfram extraction process so that Indonesia receive the added value from its minerals.

Keywords: deposit, Toboali, *scheelite*, *wolframite*, wolfram

PENDAHULUAN

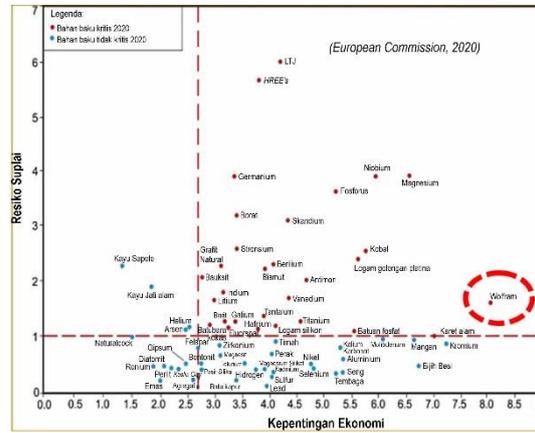
Wolfram atau yang dikenal dengan Tungsten (W) adalah logam refraktori yang memiliki berat jenis setara emas (Au) pada 19,3 g/cm³ dengan titik leleh mencapai 3422 °C (Langner, 2012). Wolfram termasuk ke dalam 50 (lima puluh) bahan baku industri strategis nasional (Mursito, 2022). Sekalipun demikian, wolfram belum termasuk dalam pohon industri logam timah (Sn) di Indonesia (Simbolon, 2022).

Wolfram juga merupakan logam penyusun litosfer bumi dengan kandungan sebanyak 1x10⁻⁴ %. Cadangan wolfram saat ini diperkirakan 1,3x10⁶ ton dengan keterdapatan di Amerika, China, Eropa (Habashi, 2015b). Saat ini keterdapatan wolfram ditemukan sebagai mineral ikutan pada timah.

Kegiatan penelitian ini dilakukan untuk menjawab tantangan banyaknya logam berharga yang dapat diperoleh dari proses pengolahan dan pemurnian timah. Logam ikutan ini memiliki nilai berharga bahkan lebih tinggi dari harga timah. Logam ikutan ini diantaranya wolfram, tantalum (Ta), niobium (Nb), dan logam tanah jarang lainnya seperti lantanum (La), yttrium (Y) serta logam lainnya yang menjadi incaran negara-negara maju (Hutabarat, 2022). Pengembangan proses, baik pengolahan maupun ekstraksi, logam strategis khususnya logam wolfram belum dilakukan karena hingga saat ini pengembangan bisnis PT Timah, Tbk. masih berfokus pada timah (PT Timah Tbk., 2012).

Logam wolfram termasuk logam kritis bagi negara Eropa dan masuk dalam daftar *Critical Raw Material* (CRM) di Australia, Amerika Serikat dan Jepang (Critical Minerals Office, 2023). Komisi Eropa mengelompokkan wolfram sebagai logam dengan tingkat keekonomian tinggi dan risiko suplai yang rendah seperti terlihat pada Gambar 1 (Hariyanto, 2022). Logam ini menjadi strategis dan kritis karena kemampuan logam ini untuk memenuhi kebutuhan teknologi energi baru dan secara kuantitas jumlahnya sangat sedikit serta merupakan mineral ikutan timah. Indikasi keterdapatan wolfram diperoleh dari hasil analisis proses peleburan timah. Sebagai logam ikutan timah, wolfram dapat menurunkan perolehan (*recovery*) logam timah saat peleburan, sehingga perlu dikaji lebih dalam.

Keterdapatan dan sebarannya di daerah yang mempunyai endapan timah perlu diketahui potensi sumber daya dan cadangannya sebagai salah satu mineral yang dibutuhkan di masa yang akan datang.



Gambar 1. Nilai ekonomis dan resiko suplai dari wolfram (Hariyanto, 2022)

Dengan semakin majunya teknologi berkebutuhan material yang dapat bekerja pada temperatur tinggi dan tingkat ketahanan terhadap aus yang semakin baik, maka kebutuhan dunia akan wolfram semakin tinggi. Hal ini berdampak pada mahalnya logam ini sebagai produk paduan pada aplikasi teknologi tinggi. Aplikasi wolfram yang utama adalah pada peralatan elektronik, paduan baja, peralatan di pertambangan dan pengeboran minyak, peralatan energi nuklir, peralatan angkasa luar, katalis, alat pemotong, dan hampir di bagian-bagian mesin yang membutuhkan ketahanan aus dan ketahanan bekerja pada operasi temperatur tinggi (Rumbu, 2017). Temperatur leleh yang tinggi dapat dimanfaatkan sebagai paduan logam pada baja karena kemampuannya tahap temperatur tinggi tanpa teroksidasi (Habashi, 2015c).

Mineral *wolframite* merupakan asosiasi mineral dari mineral kasiterit yang merupakan mineral timah (Lassner dkk., 2012). Produksi mineral timah terbesar di dunia berasal dari Sabuk Timah Asia Tenggara yang membentang dari utara ke selatan sejauh 2800 km dengan lebar 400 km yang dimulai dari Burma (Myanmar) dan Thailand menuju Semenanjung Malaysia hingga Pulau Bangka dan Belitung

Indonesia. Total produksi timah mencapai 9.6 juta ton yang setara dengan 54% produksi timah dunia berasal dari Sabuk Timah ini (Schwartz dkk., 1995). Pada Gambar 2 terlihat deretan perbukitan vulkanik jaman Trias. Lokasi penelitian dilakukan pada area yang dilalui deretan perbukitan vulkanik jaman Trias (panah kuning).



Gambar 2. Lokasi penelitian pada daerah deretan perbukitan vulkanik jaman Trias (PT Timah Tbk., 2012)

Zona pembentukan wolframit dan kasiterit bukan di zona vulkanik (dangkal) akan tetapi di lingkungan plutonik (dalam) sekitar 7-10 km. Produksi wolframit di Indonesia tercatat pada tahun 1924 sampai dengan 1941 berasal dari tambang timah Pulau Singkep dan Pulau Belitung. Setelah periode tersebut tidak ada catatan data produksi wolframit seperti terlihat pada Tabel 1 (van Bemmelen, 1949).

Berdasarkan Neraca Sumber Daya Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral terdata 1 (satu) Ijin Usaha Pertambangan (IUP) untuk komoditas mineral wolframite namun data sumber daya atau cadangan mineral wolframite tidak tersedia (Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, 2021). Penelitian PEP Bandung pada tahun 2021 ini menemukan keberadaan wolfram di area Toboali yang merupakan

bagian dari area Ijin Usaha Pertambangan (IUP) PT Timah. Area tersebut merupakan area bekas penambangan semprot dan juga sebagian merupakan tempat pencucian bijih timah. Selanjutnya dilakukan proses identifikasi dan karakterisasi untuk dapat merancang proses pengolahan mineral wolframite dan scheelite dari bijih timah area Toboali, Bangka Selatan.

Tabel 1. Produksi wolframite kurun waktu 1924-1941 (van Bemmelen, 1949)

Tahun	Lokasi Belitung (metric ton)	Lokasi Singkep (metric ton)
1924	-	329
1925	-	-
1926	-	18
1927	-	44,3
1928	-	15,7
1929	-	20,8 (68,75% WO ₃)
1930	-	30,6 (68,1% WO ₃)
1931	-	0,983 (68,1% WO ₃)
1932	-	-
1933	-	-
1934	-	2,273 (66% WO ₃)
1935	1,666 (57% WO ₃)	0,259 (66-67% WO ₃)
1936	-	1,2
1937	-	0,4
1938	0,254	0,143
1939	3,521	-
1940	0,622	-
1941	1,5	-

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari keberadaan mineral wolfram pada deposit timah di Pulau Bangka melalui karakterisasi mineral wolfram dengan uji Ultraviolet (UV), X-Ray Fluorescence (XRF), Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES), Scanning Electron Microscopy (SEM) dan analisis mineral non magnetik.

Pemisahan magnetik pada wolframite dari kasiterit telah dilakukan pada abad 19 dengan ditemukannya teknologi Induced Magnetic Roll (IMR) Separator dengan kapasitas 10 ton/hari. Magnetic separator yang direkomendasikan pada pemisahan wolframite dari kasiterit adalah Wet High-Intensity Magnetic Separation (WHIMS), High Gradient Magnetic Separation (HGMS), Dry Rare Earth Separator (DRES), dan Wetherill yang beroperasi pada 6000-50.000 Gauss (Arvidson dan Norrgran, 2014).

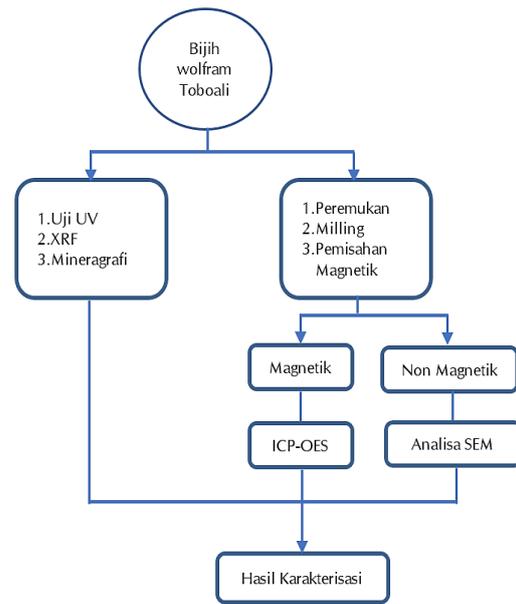
METODE

Pengambilan sampel bijih dimulai dari lokasi bekas penambangan timah di daerah Toboali Bangka Selatan, sedangkan lokasi pengambilan sampel konsentrat hasil pencucian bijih timah diambil dari area pencucian terdekat dengan lokasi ditemukannya mineral wolfram. Untuk sampel terak, kerak lantai dan lumpur anoda (*anode slime*) diambil dari area peleburan dan *electrorefining* pada Unit Metalurgi Muntok, Bangka Barat.

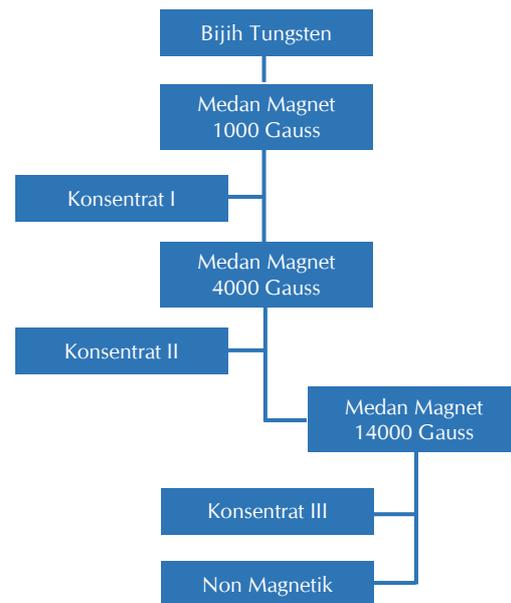
Analisis untuk mengetahui mineral wolfram pada bijih primer yang ditemukan di area Toboali dilakukan dengan uji UV, analisis XRF menggunakan XRF portabel, analisis mineragrafi dengan mikroskop dan analisis kadar logam dengan ICP-OES. Selanjutnya dilakukan analisis logam untuk mengetahui kadar logam pada terak II, lumpur anoda (*anoda slime*), dan kerak tanur dengan analisis ICP-OES. Uji UV, analisis mineragrafi dan analisis XRF dilakukan di Laboratorium Mineralogi PEP Bandung, sedangkan analisis kadar logam dengan ICP-OES dilakukan di Laboratorium PT Intertek, Jakarta. Untuk mendapatkan konsentrat mineral wolfram dilakukan uji pemisahan magnetik hingga didapatkan mineral non magnetik pembawa mineral wolfram. Pemisahan magnetik dilakukan di Balai Besar Pengujian Mineral dan Batubara Teknologi Mineral dan Batubara (BBPMB *tekMIRA*), sedangkan analisis SEM pada mineral non magnetik dilakukan di PT Geoservices, Jakarta.

Persiapan sampel untuk analisis mineral non magnetik dilakukan dengan proses peremukan dengan *jaw crusher* dan *milling* dengan *ring mill* hingga didapatkan partikel berukuran -200 mesh. Proses ini dilakukan di Workshop Pengolahan Mineral Kampus Lapangan Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Geologi Mineral dan Batubara (PPSDM Geominerba).

Hasil karakterisasi dan identifikasi yang diperoleh dirangkum sebagai informasi untuk melanjutkan pemetaan geologi dan mineralisasi di area Toboali serta merancang proses pengolahan mineral. Tahapan proses karakterisasi ditunjukkan pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 5.



Gambar 3. Tahapan penelitian untuk bijih wolfram



Gambar 4. Diagram alir pemisahan magnetik

Mineral *wolframite* memiliki sifat paramagnetik dan konduktor sedangkan mineral *scheelite* memiliki sifat non magnetik dan non konduktor (Sreenivas *dkk.*, 2004). Mineral *wolframite* memiliki sifat paramagnetik karena mengandung besi (Fe) dalam senyawanya tetapi tidak terlalu kuat sedangkan *scheelite* tidak mengandung besi (Habashi, 2015a). Oleh karena itu pada pemisahan mineral ini perlu

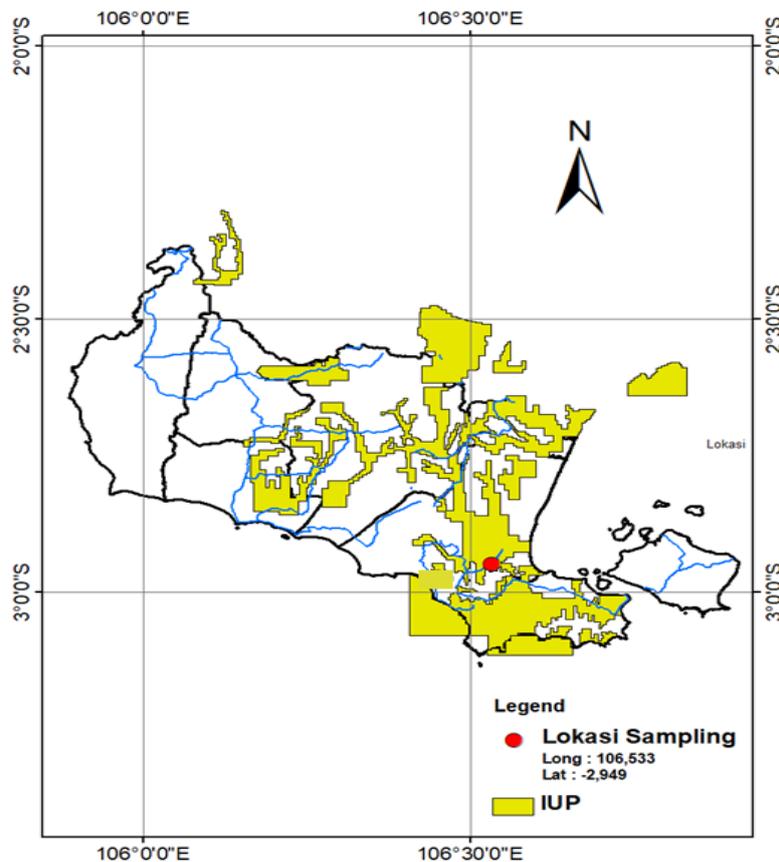
mempertimbangkan karakteristik mineral yang dimiliki. Proses pemisahan magnetik dilakukan dalam 3 (tiga) tahap dengan menggunakan pemisahan *Dry Magnetic* dengan kemampuan 1000-14.000 Gauss. Pada penelitian ini pemisahan magnetik dilakukan pada kemampuan 1000, 4000 dan 14000 Gauss seperti terlihat pada diagram alir (Gambar 4).



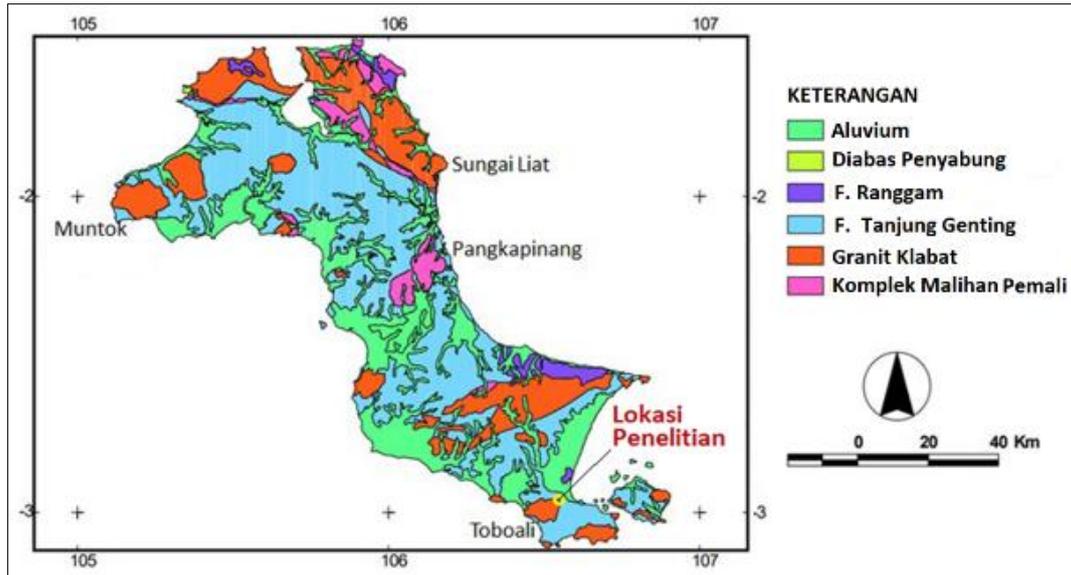
Gambar 5. Tahapan penelitian untuk terak II, kerak lantai dan lumpur anoda

Hasil survei dan pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa mineralisasi timah terdapat pada cebakan tipe Greisen dan urat. Deposit timah berada pada bagian tepi dari tubuh granit yang merupakan hasil aktivitas akhir magmatik. Tubuh intrusi granit pembawa mineralisasi timah di Bangka berumur Trias, berupa Granit Klabat (Schwartz dan Surjono, 1991). Pada lokasi penelitian di Toboali ditemukan Granit Klabat yang di sekelilingnya terdapat wilayah IUP PT. Timah Tbk. Titik lokasi target penelitian lapangan ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi geologi setempat, yakni di tepi timur Granit Klabat (Gambar 6 dan Gambar 7) di Desa Kepoh, Kecamatan Toboali, Bangka Selatan, pada koordinat 106° 31' 58" BT, 2° 56' 56" LS.

Lokasi penelitian merupakan area bekas tambang, pada bekas dinding tambang (pit) ditemukan singkapan beberapa urat kuarsa dengan tebal sekitar 10 cm. Beberapa singkapan urat kuarsa juga dijumpai memotong jalan. Keberadaan urat-urat tersebut disertai dengan melimpahnya mineral turmalin.



Gambar 6. Lokasi penelitian di Toboali Bangka Selatan (Hutabarat dkk., 2021)



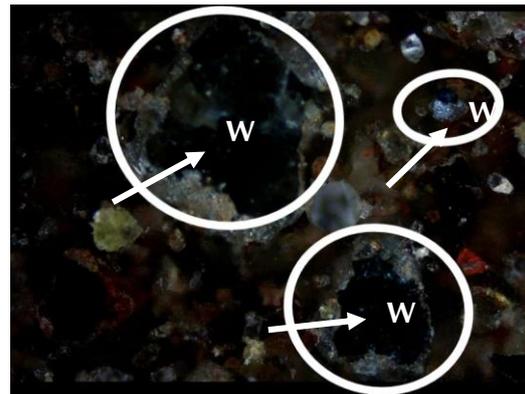
Gambar 7. Titik lokasi penelitian di tepi Granit Klabat (Hutabarat dkk., 2021)

HASIL DAN PEMBAHASAN

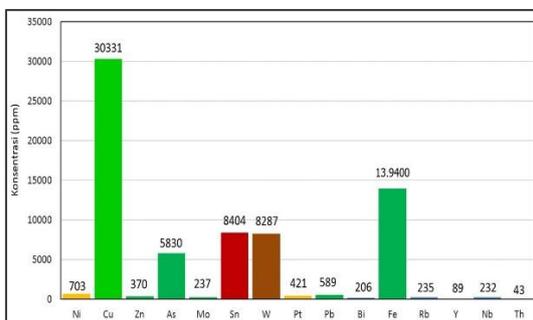
Mineragrafi

Analisis awal pada bijih timah yang dihaluskan adalah analisis XRF dan mineragrafi menggunakan mikroskop. Hasil ini diperlukan untuk melihat keberadaan mineral *wolframite* dan *scheelite* dalam bijih seperti pada Gambar 8 sampai dengan Gambar 10.

Di kedua sampel bijih dan konsentrat timah Toboali ditemukan ciri-ciri pembawa wolfram berwarna hitam yang mengidentifikasi mineral *wolframite* dan warna putih keabu-abuan yang mengidentifikasi mineral *scheelite*.



Gambar 9. Kehadiran wolfram (W) pada bijih timah Toboali (Hutabarat dkk., 2022)



Gambar 8. Kandungan unsur logam pada urat, hasil pengujian XRF (Hutabarat dkk., 2022)



Gambar 10. Kehadiran wolfram (W) pada konsentrat timah Toboali (Hutabarat dkk., 2022)

Uji Ultraviolet

Hasil uji UV pada bijih Toboali menunjukkan mineral dengan warna biru berpendar setelah disinari oleh sinar UV. Mineral *scheelite* yang murni akan menampilkan warna biru berpendar dalam sinar UV dan menjadi warna putih dengan adanya kandungan molibdenum sekitar 1% dan berwarna kuning untuk kandungan molibdenum diatas 1% (Lassner dkk, 2005). Karakteristik ini digunakan pada saat *prospecting*. Gambar kehadiran wolfram ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 11. Mineral *scheelite* berpendar warna biru muda pada sampel Toboali (Hutabarat dkk., 2022)

Pemisahan Magnetik

Hasil analisis kadar wolfram dengan ICP OES pada mineral non magnetik hasil proses pemisahan magnetik tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Kadar wolfram hasil pemisahan magnetik bijih wolfram

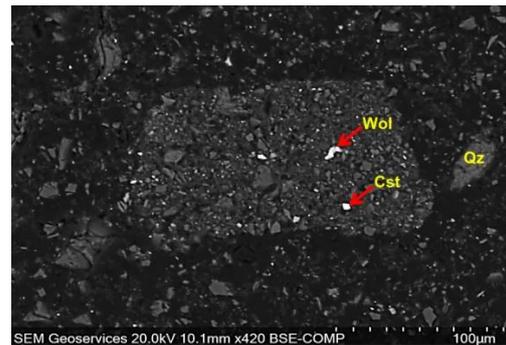
No	Sampel	Berat (g)	Kadar W (ppm)
1	Konsentrat I	10,26	4,9
2	Konsentrat II	9,14	8,0
3	Konsentrat III	21,95	13,2
4	Non Magnetik	58,65	19,1
Total		100,00	

Kadar wolfram terbesar ditemukan pada sampel non magnetik dan diperlukan analisis terkait mineral pembawa wolfram. Selain pemisahan magnetik, wolfram dapat dipisahkan secara gravitasi menggunakan meja goyang tipe

Wilfrey dengan partikel umpan -20 mesh dan persen solid sebesar 22% (Outokumpu, 2020).

Analisis SEM pada Mineral Non Magnetik

Analisis SEM yang dilakukan dengan metode *Backscattered Electron Imaging* (BSE) menunjukkan keberadaan mineral *wolframite* (Wol) di antara mineral kuarsa (Qz) dan kasiterit (Cst) seperti tampak pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil analisis SEM pada sampel non magnetik

Gambar BSE menunjukkan sensitivitas yang tinggi terhadap perbedaan nomor atom. Nomor atom yang tinggi akan menunjukkan kilau yang lebih terang (Sreenivas dkk., 2004). Wolfram dengan nomor atom 74 menunjukkan kilauan yang lebih terang jika dibandingkan dengan kuarsa yang memiliki nomor atom 14 dan timah dengan nomor atom 50. Selain itu, dilakukan analisis SEM terkait mineral yang ditemukan pada konsentrat non magnetik seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Mineral penyusun konsentrat non magnetik berdasarkan analisis SEM

No	Mineral	Kadar(%)
1	Quartz	58,6
2	Illite	14,9
3	Chlorite	10,2
4	Magnetite	5,0
5	Kaolinite	4,5
6	Muscovite	2,8
7	Wolframite	0,9
8	Orthoclase	0,5
9	Gibbsite	0,4
10	Lainnya	1,7
Total		100,00

Proses pengolahan timah di PT Timah Tbk. dilakukan dalam 2 (dua) tahap. Tahap I untuk mendapatkan konsentrat timah atau meningkatkan kandungan kasiterit sebagai mineral pembawa timah. Tahap II merupakan tahap ekstraksi yaitu peleburan timah untuk mendapatkan logam timah. Dalam proses pengolahan timah saat ini yang dilakukan oleh PT Timah, keberadaan wolfram dalam proses timah tidak dilakukan pemisahan sebelumnya. Wolfram yang dikandung dalam bijih akan ikut masuk ke dalam proses peleburan dan sebagian besar ikut ke terak. Hal ini terlihat dari hasil analisis sampel pada berbagai tahap (Tabel 3).

Tabel 3. Kandungan wolfram (W) pada berbagai tahapan proses pengolahan Timah

No	Sampel	Kadar W Analisis I (ppm)	Kadar W Analisis II (%)
1	Bijih	742	-
2	Konsentrat Tahap I	31	0,71
3	Konsentrat	67	-
4	Terak II	> 2000	1,02
5	Kerak Lantai	1268,5	0,13
6	Lumpur anoda	209	0,01

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 3 diatas, kehadiran wolfram pada lokasi bekas area penambangan timah di lokasi Toboali terbukti mengandung wolfram sebesar 742 ppm. Umumnya bijih dengan kadar wolfram yang tinggi ditolak dan dijual kepada penampung yang berada di lokasi tersebut sehingga hasil pencucian yang diperoleh dari lokasi pencucian saat pengambilan sampel tersebut menunjukkan kadar wolfram yang tidak terlalu tinggi. Pada konsentrat yang merupakan umpan peleburan juga menunjukkan kadar wolfram yang tidak terlalu tinggi.

Dari hasil peleburan, hampir sebagian besar wolfram masuk ke dalam fasa terak yaitu sebesar 1,02 % wolfram dan terakumulasi pada terak II, sedangkan sepersepuluhnya akan jatuh ke bawah dan akan terakumulasi sebagai kerak lantai. Hal ini dimungkinkan karena berat jenis wolfram relatif lebih tinggi dalam keadaan padat dibandingkan timah cair serta titik leleh wolfram yang sangat tinggi (3422 °C) pada saat

proses peleburan timah yang beroperasi pada suhu 1200-1400 °C.

Dari hasil analisis ini, terdapat 2 (dua) kemungkinan proses, pertama adalah melakukan pemisahan wolfram dari awal sebelum masuk proses pencucian, yaitu saat penambangan; kedua adalah dengan mengolah terak II yang telah mengandung sekitar 1,02 % wolfram dan cukup ekonomis untuk diproses lanjut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian ini menunjukkan keberadaan dan jenis mineral pembawa wolfram pada deposit timah di Pulau Bangka pada koordinat 106° 31' 58" BT, 2° 56' 56" LS di tepi timur Granit Klabat di Desa Kepoh, Kecamatan Toboali, Bangka Selatan. Jenis mineral pembawa wolfram teridentifikasi adalah *wolframite* (Fe.Mn)WO₄ dan *scheelite* (CaWO₄) yang dikarakterisasi melalui perbedaan sifat seperti warna, fluoresence, magnetik, dan mineral penyusunnya. Besar kandungan wolfram sebesar 742 ppm pada bijih dan 1,02 % pada terak II. Selain itu wolfram ditemukan juga pada kerak lantai *furnace* dan lumpur anoda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Energi dan Sumber Daya Mineral (BPSDM ESDM) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) atas dukungan dana Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) dalam melakukan kegiatan penelitian di Pulau Bangka, PT Timah, Tbk. untuk sampel yang diberikan, PPSDM Geominerba untuk penggunaan kampus lapangan dan BBPMB tekMIRA penggunaan alat pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arvidson, B.R. dan Norrgran, D. (2014) "Magnetic separation," in C.G. Anderson, R.C. Dunne, dan J.L. Uhrie (ed.) *Mineral Processing and Extractive Metallurgy: 100 Years of Innovation*. Englewood: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., hal. 223.

- van Bemmelen, R.W. (1949) *The geology of Indonesia Volume II*. The Hague: Government Printing Office.
- Critical Minerals Office (2023) *Australia's critical minerals list, Department of Industry, Science and Resources*. Tersedia pada: <https://www.industry.gov.au/publications/aust-rali-as-critical-minerals-list> (Diakses: 24 Juni 2023).
- Habashi, F. (2015a) "Minerals and the mineral industry," in *Metals from Ores - An Introduction to Extractive Metallurgy*. Quebec: Department of Mining, Metallurgical and Materials Engineering Laval University.
- Habashi, F. (2015b) "The earth's crust," in *Metals from Ores - An Introduction to Extractive Metallurgy*. Quebec: Department of Mining, Metallurgical and Materials Engineering Laval University.
- Habashi, F. (2015c) "The metal industry," in *Metal from Ores - An Introduction to Extractive Metallurgy*. Quebec: Department of Mining, Metallurgical and Materials Engineering Laval University.
- Hariyanto (2022) "Potensi dan ketahanan cadangan mineral kritis dan mineral strategis (nikel, tembaga, emas dan perak, timah, bauksit/ alumunium, logam tanah jarang/ LTJ)." Bandung: Badan Geologi - KESDM.
- Hutabarat, I.E.R. (2022) "Metalurgi non ferous." Bandung: Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung.
- Hutabarat, I.E.R., Suprpto, S.J., Priatna, Rudiansyah dan Maryono (2022) *Ekstraksi logam berharga dari timah aluvial*. Bandung.
- Hutabarat, I.E.R., Suprpto, S.J., Yunanto, T., Raja, D.L., Putra, I. dan Rohman, A. (2021) *Ekstraksi logam berharga dari bijih timah*. Bandung.
- Langner, B.E. (2012) *Metals lexicon*. Germany: Aurubis.
- Lassner, E., Schubert, W.-D., Lüderitz, E. dan Wolf, H.U. (2012) "Tungsten, Tungsten Alloys, and Tungsten Compounds," in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Tersedia pada: https://doi.org/10.1002/14356007.a27_229.
- Mursito, A.T. (2022) "Pengembangan dan kesiapan teknologi industri pertambangan dalam negeri untuk mendukung hilirisasi mineral." Pusat Riset Teknologi Pertambangan - Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material.
- Outokumpu (2020) "Wilfrey concentrating tables gravity separation shaking tables." Outokumpu Technology.
- PT Timah Tbk. (2012) "Rare earth potential - Indonesia in tin belt." Badan Geologi - KESDM.
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (2021) "Neraca sumber daya mineral, batubara, dan panas bumi." Badan Geologi - Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Rumbu, R. (2017) *Refractory materials extractive metallurgy: Titanium - Zirconium -Tungsten - Molybdenum - Vanadium - Rhenium*. 1st Editio. Cape Town: 2RA-Publishing.
- 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), hal. 95-293. Tersedia pada: [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(95\)00004-T](https://doi.org/10.1016/0012-8252(95)00004-T).
- Schwartz, M.O. dan Surjono (1991) "The Pemali tin deposit, Bangka, Indonesia," *Mineralium Deposita*, 26(1), hal. 18-25. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/BF00202359>.
- Simbolon, A.M. (2022) "Tata kelola industri berbasis mineral dan batubara," in *The 1st Indonesia Minerals Mining Industry Conference-Expo 2022*. Bandung: Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara.
- Sreenivas, T., Sinivas, K., Natarajan, R. dan Padmanabhan, N.P.H. (2004) "An integrated process for the recovery of tungsten and tin from a combined wolframite-scheelite-cassiterite concentrate," *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 25(3), hal. 193-203. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1080/08827500490441332>.

