

Prospeksi dan Masalah Lingkungan Akibat Penambangan Timah di Pulau Karimun***Prospective and Environmental Problem of Tin Mining in Karimun Island***

Ronaldo Irzon

Pusat Survei Geologi
Jalan Diponegoro No. 57 Bandung 40122 Indonesia

e-mail: ronaldoirzon18@gmail.com

naskah diterima 19 Februari 2021, selesai direvisi 19 November 2021, dan disetujui 22 November 2021

ABSTRAK

Penambangan timah di Asia Tenggara yang kaitannya dengan sabuk timah telah dimulai sejak abad ke-19. Eksploitasi tersebut tentu telah meninggalkan beberapa lokasi pembuangan limbah timah yang dapat membahayakan lingkungan. Namun demikian, limbah pertambangan juga memungkinkan masih mengandung bahan-bahan yang bernilai ekonomis. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari komposisi bahan sisa dari beberapa lokasi pembuangan *tailing* timah di Pulau Karimun agar dapat mengetahui potensi maupun dampaknya terhadap lingkungan. Hasil analisis XRF dan ICP-MS menunjukkan bahwa kandungan Al_2O_3 dan Ce pada beberapa lokasi cukup prospektif. Kedua oksida tersebut menarik untuk dipisahkan karena merupakan bahan buangan, berada tidak jauh dari permukaan, lunak, dan memiliki luas permukaan yang besar. Limbah penambangan timah di Karimun terbukti telah menyebabkan polusi aluminium, magnesium, dan potasium pada tingkat beragam. Program reboisasi, penggunaan bakteri pengurai, dan penambahan beberapa bahan kimia sesuai dosis dapat diadaptasi dalam perbaikan kondisi lingkungan pasca penambangan timah.

Kata kunci: geokimia, Karimun, limbah timah, prospeksi, polusi

ABSTRACT

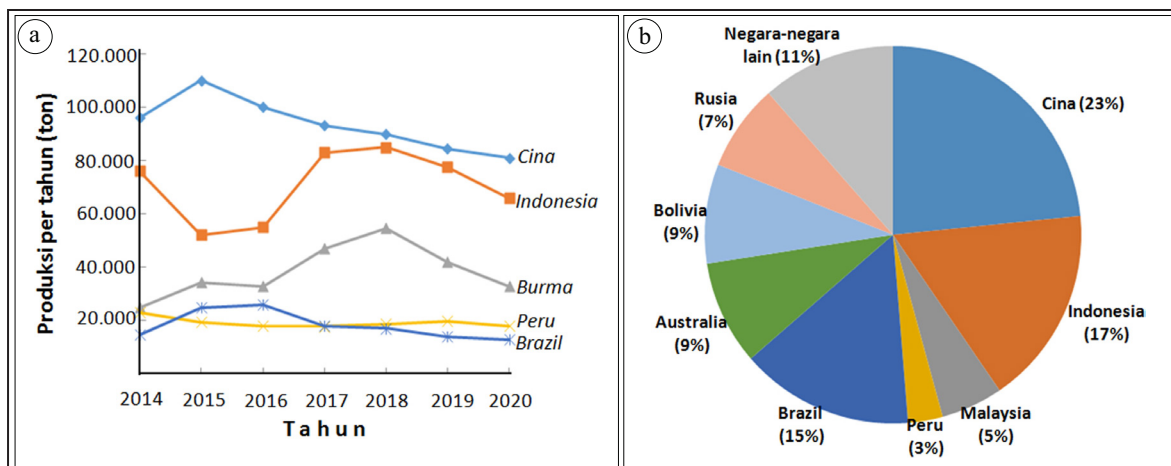
Tin mining in Southeast Asia, which is closely associated with the tin belt, was initiated in the 19th century. The exploitation certainly created tin waste disposal locations which may endanger the environment. On the other hand, mining waste might also contain valuable materials. This study aims to analyse the composition of the residual materials from several tin tailings disposal sites on Karimun Island for any potential prospects and environmental impacts. The results of XRF and ICP-MS measurements show that Al_2O_3 and Ce in some sites are prospective and interesting to be beneficiated on behalf of their condition as waste material, located near the surface, soft, and a large surface area. On the other hand, the tin mining wastes of Karimun lead to aluminium, magnesium and potassium pollutants at various degrees. The revegetation program, the use of decomposing bacteria, and the addition of several environmentally friendly chemicals with certain dosage could be adapted to improve environmental conditions after tin mining.

Keywords: geochemistry, Karimun, pollution, prospecting, tin tailings

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil timah terbesar kedua di dunia setelah Cina pada dekade terakhir. Sebanyak 66.000 ton atau 24% dari total 270.000 ton produksi timah global pada tahun 2020 berasal dari Indonesia (Gambar 1). Sekitar 800.000 ton cadangan timah yang setara dengan 17% cadangan dunia masih terdapat di Nusantara (USGS, 2021). Kekayaan timah

tersebut sangat terkait dengan sabuk timah berasosiasi granit di Asia Tenggara. Sabuk timah menjadi penyebab mineralisasi timah di Malaysia, Thailand, Vietnam, Burma dan Laos (Ghani drr., 2013; Gardiner drr., 2015; Gardiner drr., 2016; Irzon drr., 2018; Setiadi drr., 2019; Purwadi drr., 2020). Sumber daya timah telah mulai dieksploitasi secara massal oleh masyarakat lokal di Asia Tenggara sejak



Gambar 1. a) Produksi lima negara penghasil timah terbanyak sejak tahun 2014 hingga 2020; dan b) Cadangan timah global pada akhir tahun 2020 (sumber USGS (2021)).

abad ke-19 (Ross, 2014). Meskipun Malaysia pernah menjadi produsen timah terbesar di dunia, sumber daya di negara tersebut semakin menipis sehingga pemerintahnya memutuskan untuk tidak melakukan penambangan intensif sebelum ditemukan cadangan baru (Kamari dr., 2017; Azhar dr., 2020).

Penambangan timah kerap dikaitkan dengan keberadaan unsur tanah jarang (UTJ) terutama mineral monasit dan senotim (Bahri dr., 2016; Hastiawan dr., 2016; Sanusi dr., 2021). UTJ merupakan kelompok unsur strategis yang diperlukan dalam teknologi modern seperti pesawat anti radar, panel surya, mobil listrik, katalis, *motherboard* pada komputer, layar televisi LED, dan perangkat *magnetic resonance imaging* (MRI). Malaysia telah berhasil memproduksi UTJ yang diolah dari sisa penambangan timah (Hidayah dan Abidin, 2018). Indonesia hingga kini belum memiliki satu pabrik pun yang resmi memproduksi UTJ. Instalasi pemisahan monasit dari limbah timah yang didirikan oleh PT Timah Tbk di Tanjunglar, Pulau Bangka, masih berskala laboratorium dan belum secara konsisten memproduksi UTJ.

Sumber daya timah terdapat di Indonesia baik di Pulau Sumatra maupun pulau-pulau lain dalam gugus kepulauan di Timur Pulau Sumatra yang juga disebut sebagai pulau-pulau timah, yaitu: Belitung, Bangka, Singkep, Kundur, dan Kari-

mun (Ng dr., 2017; Irzon dr., 2018). Eksploitasi timah di daratan Pulau Karimun dilaksanakan sejak 1970-an hingga 1990-an. PT. Karimun Granite adalah perusahaan penambangan timah di Karimun yang tercatat mengekspor timah ke Singapura pada tahun 1972 sebanyak 170,000 ton/tahun (Irzon, 2017). Akibat menipisnya cadangan timah di darat, penambangan timah di sekitar Pulau Karimun dan Pulau Kundur saat ini terkonsentrasi di laut dengan menggunakan kapal keruk maupun kapal hisap. Terdapat setidaknya enam lokasi lahan bekas penambangan di Pulau Kundur dengan luas masing-masing hingga mencapai >90 Ha (Hutamadi, 2007). Hingga saat ini lokasi tersebut dimanfaatkan sebagai tempat penampungan air hujan dan sarana pemancingan. Selain timah, Pulau Karimun juga memiliki beragam bahan galian lain seperti granit dan pasir.

Investigasi terhadap lokasi pembuangan bahan sisa penambangan (kolong) telah menjadi topik yang menarik karena *tailing* timah terbukti masih memiliki kandungan logam berharga yang cukup tinggi, seperti titanium, besi, aluminium, torium, timah sekunder, dan UTJ (Sanusi dr., 2017; Abaka-Wood dr., 2019; Tunsu dr., 2019; Irzon dr., 2020^a). Penelitian sebelumnya (Hutamadi, 2007) menyebutkan keterdapatan magnetit, ilmenit, hematit, amfibol, dan timah dalam kadar yang rendah pada beberapa kolong

timah tanpa merinci komposisinya. Pada sisi lain, lahan lokasi pembuangan timah tentu memberi dampak penurunan kualitas lingkungan akibat peningkatan kadar logam berat maupun unsur radioaktif di atas ambang batas aman (Wudr., 2014; Kamari drr., 2017; Irzon drr., 2018). Polutan berbahaya ini dapat masuk ke tubuh manusia melalui udara, air minum, makanan, dan paparan radiasi (Suhari, 2012; Domingo dan David, 2014; Asmarhansyah drr. 2017; Nurtjahya drr. 2017). Ragam penyakit seperti keracunan, iritasi pernapasan, masalah pencernaan, maupun gatal-gatal dapat disebabkan oleh polusi logam berat (Kamari drr., 2017; Irzon, 2018; Irzon drr., 2018). Oleh sebab itu, komposisi tailing pada lokasi bekas pembuangan sisa pertambangan kegiatan hulu hingga hilir perlu dikaji sebelum dimanfaatkan lebih jauh agar dapat dibuat keputusan yang tepat, bermanfaat, dan aman. Studi ini bertujuan untuk mempelajari komposisi bahan sisa dari beberapa lokasi pembuangan *tailing* timah di Pulau Karimun agar dapat mengetahui potensi maupun dampaknya terhadap lingkungan. Hasil studi kemudian dapat menjadi acuan bagi pemerintah setempat maupun pusat mengenai pemanfaatan lokasi pembuangan *tailing* di Pulau Kundur.

Pulau Karimun berada di Timur Pulau Sumatra pada koordinat 113°30' - 114°00' BT dan 0°35' - 01°10' LU. Pulau ini berada di perairan Selat Malaka yang menjadi pemisah antara Sumatra dan Malaysia. Daerah studi secara administratif merupakan bagian dari Kabupaten Karimun yang beribukota di Tanjung Balai. Wilayah Karimun beriklim tropis dengan rentang temperatur dan kelembaban masing-masing 23,1° - 33,2°C dan 60% - 98%. Sebagian besar wilayah penelitian masih tertutup hutan dengan beberapa pebukitan yang terbentuk akibat erosi maupun kegiatan penambangan (Hutamadi, 2007).

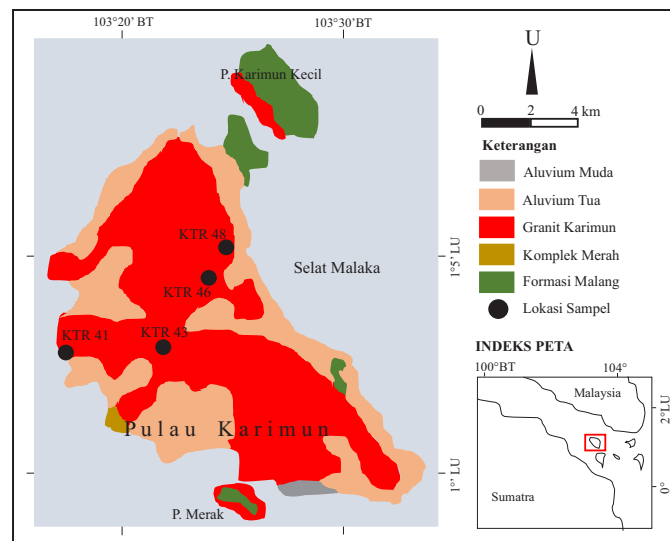
Kondisi geologi Pulau Karimun tergambar pada Peta Geologi Lembar Bengkalis (Cameron drr., 1982). Satuan batuan yang terdapat di pulau ini adalah Formasi Malang, Komplek Merah, Granit Karimun, Aluvium Tua, dan Aluvium Muda. Formasi Malang yang terbentuk sejak

Karbon Akhir dan tersusun atas serpih hornfels, batupasir, rijang, batugamping, dan batuan gungngapi riodasitik merupakan unit batuan tertua di Karimun. Terdapat dua unit batuan terobosan di wilayah studi, yaitu Komplek Merah dan Granit Karimun. Komplek Merah terbentuk selama zaman Perem dan terdiri dari metagabro, amfibolit, dan sekis hornblenda. Granit biotit, pegmatite, dan greisens penyusun Granit Karimun membeku ketika Trias (Cameron drr., 1982). Granit Karimun inilah yang mengokupasi sebagian besar wilayah daratan Pulau Karimun. Cameron drr. (1982) tidak menjelaskan secara rinci mengenai korelasi antara Formasi Malang, Komplek Merah, dan Granit Karimun. Endapan Permukaan Tua dan Endapan Permukaan Muda tersedimentasi ketika Kuartar dan banyak terdapat di wilayah pesisir. Peta geologi Pulau Karimun dapat dilihat pada Gambar 2.

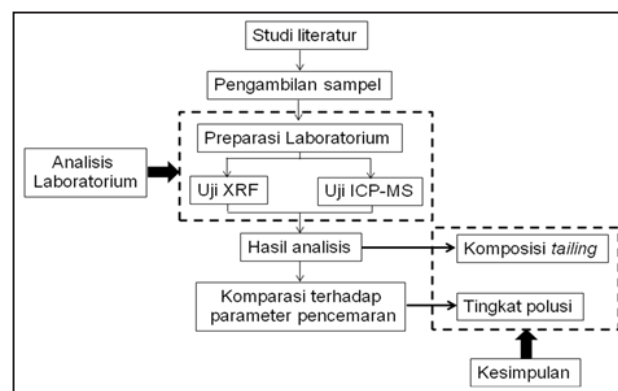
METODE PENELITIAN

Pekerjaan lapangan dilaksanakan untuk mendapatkan sampel-sampel yang sesuai dengan tujuan penelitian. Keadaan setiap lokasi penelitian dan kenampakan sampel secara megaskopis dicatat sesuai dengan kondisi di lapangan. Sampel yang terkumpul dikirim ke laboratorium untuk dipreparasi sebelum diuji dengan dua perangkat analisis, yaitu XRF (*X-Ray Spectrometry*) dan ICP-MS (*Inductively Couple Plasma – Mass Spectrometry*). Perangkat XRF digunakan untuk mengukur kadar oksida utama, sedangkan ICP-MS untuk mengetahui komposisi unsur jejak dan UTJ pada sampel. Kemudian, tingkat polusi dapat dihitung melalui perbandingan parameter pencemaran terhadap komposisi sampel. Diagram alir pada studi ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Sebanyak enam sampel dari empat stasiun pengamatan di Pulau Karimun telah diambil pada penelitian ini. Kolong pembuangan limbah timah di Jelutung merupakan lokasi stasiun KTR 46. Penduduk setempat tampak masih menambang timah di lokasi ini menggunakan sistem semprot (Gambar 4a). KTR 46 A merupakan



Gambar 2. Kondisi geologi Pulau Karimun yang berada di Selat Malaka berserta lokasi pengambilan sampel (modifikasi dari Cameron drr., 1982).



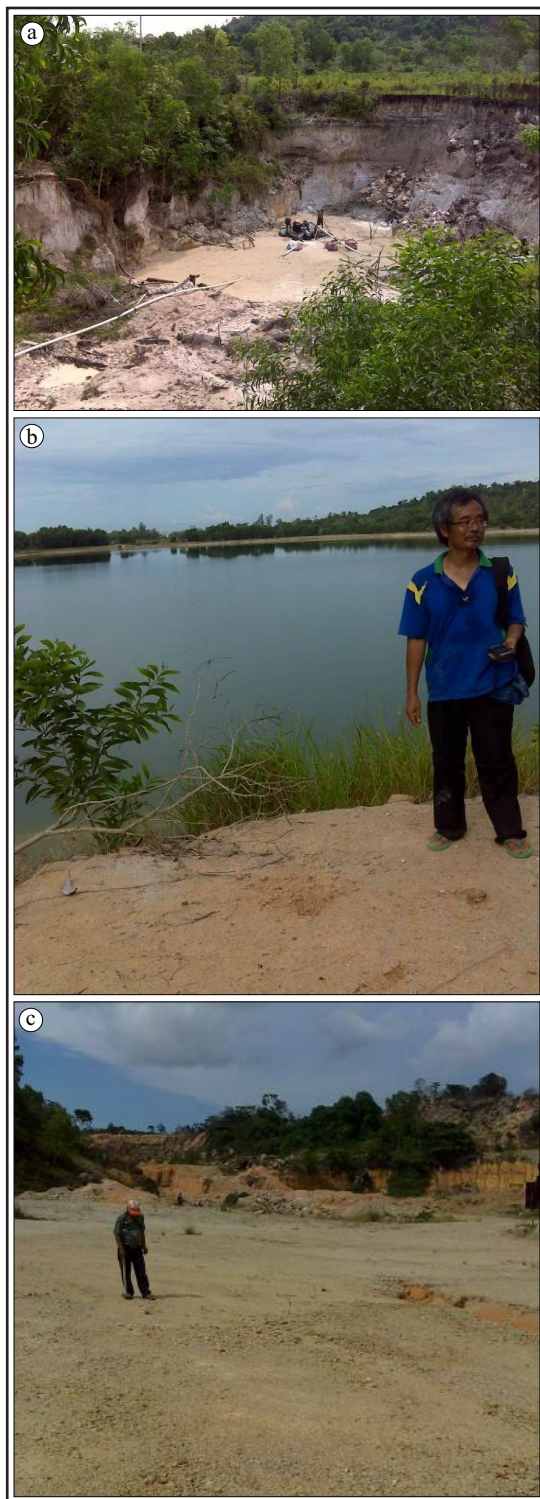
Gambar 3. Bagan alir metode penelitian mengenai *tailing* timah di Pulau Karimun dalam studi ini.

material lempung pasir yang diambil dari dasar kolong berwarna keabuan. Material dari tepian kolong di Jelutung ini kemudian dipisahkan antara fraksi kasarnya yang berwarna abu kehitaman (pasir, KTR 46 B) dan fraksi halus yang tampak pucat (lempung, KTR 46 C).

Kolong lainnya (KTR 48) dapat dijumpai di wilayah Desa Pongkar sekitar 2 km di timur laut dari KTR 46. Pada lokasi ini tidak dijumpai adanya penambangan kembali pada kolam sisa penambangan timah Gambar 4b). Sampel KTR 48 merupakan pasir lempungan dengan butiran kuarsa halus berwarna abu-coklat-kemerahan diambil dari dalam kolam di Pongkar. Lokasi KTR 43 merupakan hamparan pasir *tailing* di Meral yang dialiri sungai sempit dan dangkal.

Sampel KTR 43 H merupakan pasir kuarsa lempungan yang diambil dari bantaran sungai tersebut. Studi ini juga mengambil sampel pasir dari pantai Pelawan (KTR 41 B) yang berada di tepi barat Karimun. Geokimia granit dari Pelawan telah diulas pada studi sebelumnya (Irzon, 2017).

Kadar oksida utama (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_{3T} , MnO , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , dan P_2O_5) pada sampel diukur menggunakan perangkat XRF, sedangkan jumlah unsur jarang (Sc, V, Ga, Rb, Sr, Nb, Cs, Ba, Th, dan U) dan UTJ+Y ditentukan menggunakan ICP-MS. Seluruh proses preparasi hingga pengukuran komposisi sampel dilaksanakan di Laboratorium Pusat Survei Geologi, Bandung. Sampel dikeringkan di bawah



Gambar 3. Situasi lokasi pengambilan sampel di Pulau Karimun: a) Kolong di Jelutung yang logam timah disekitarnya masih dieksploitasi dengan teknik semprot; b) Kolong tanpa aktifitas penambangan di Pongkar; dan c) hamparan *tailing* timah di Meral.

panas matahari setidaknya selama satu hari kerja sebelum dipreparasi menggunakan bahan kimia.

Material uji tidak perlu dicuci agar tidak ada bagian yang hilang dan menghindari bias pada hasil pengukuran. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam wadah dan diaduk hingga homogen. Sampel homogen digerus hingga mendapatkan ukuran partikel $< 200 \mu\text{m}$ dan kemudian disimpan dalam wadah plastik yang telah diberi kode.

Rangkaian preparasi *pressed pellet* yang telah dijabarkan oleh Irzon drr. (2018) diterapkan pada analisis XRF dalam penelitian ini. Perangkat ICP-MS dimanfaatkan karena limit deteksinya mencapai *part per billion* (ppb) dan telah dipergunakan dalam berbagai studi genesis batuan maupun pencemaran lingkungan (Ng drr., 2017; Irzon, 2018; Irzon drr., 2021; Abaka-Wood drr., 2019; Tunsu drr., 2019; Irzon drr., 2020b). Sebanyak 0,1 g sampel didestruksi menggunakan tiga jenis asam kuat, yaitu: yaitu asam klorida (HCl), asam nitrat (HNO_3), dan asam format (HF) pada tahap destruksi sampel. Larutan kemudian dipanaskan di atas *hotplate* hingga larutan hampir kering. Penambahan asam perklorat dibutuhkan jika masih terdapat partikel sampel yang belum terlarut. Sampel kemudian dilarutkan dengan asam nitrat 2% untuk disimpan sebagai larutan induk. Ketika hari pengujian, 1 ml larutan induk ditambahkan dengan 9 ml HNO_3 2% dan kemudian dimasukkan ke dalam sistematika analisis ICP-MS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi kimia sampel terlampir pada Tabel 1. Sebagian besar sampel terdiri dari pasir kuarsa yang dikonfirmasi oleh tingginya kadar SiO_2 pada seluruh sampel (rerata 77,38%). Sampel yang diambil dari dasar kolong terbukti memiliki kelimpahan oksida aluminium yang cukup tinggi, yaitu 24,9% (KTR 48) dan 29,3% (KTR 43 A). Jumlah Al_2O_3 tersebut bahkan jauh lebih tinggi daripada kadarnya dalam sampel batuan intrusi di Karimun ($< 16,5\%$) seperti dijelaskan dalam penelitian terdahulu (Irzon, 2017). Pada sisi lain, sampel yang terdapat di pinggiran kolong maupun dari hamparan *tailing* mengan-

Tabel 1. Komposisi oksida utama, unsur jejak, dan UTJ pada sampel-sampel dalam penelitian ini

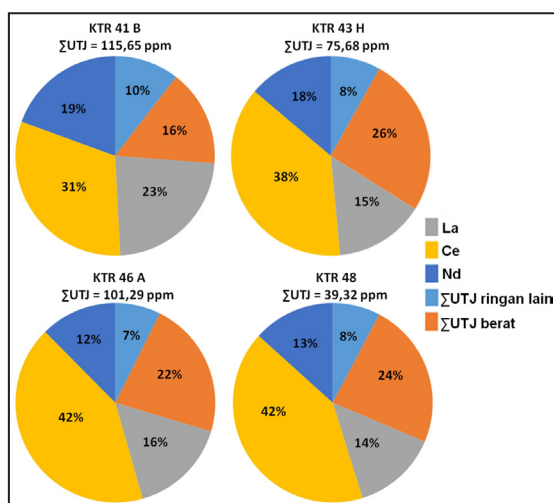
Sampel	KTR 41 B	KTR 43 H	KTR 46 A	KTR 46 B	KTR 46 C	KTR 48
<i>Oksida Utama (%)</i>						
SiO ₂	71,94	93,3	50,65	86,72	92,15	69,55
Si	33,63	43,62	23,68	40,53	43,08	32,51
TiO ₂	0,09	t,d,	0,51	t,d,	t,d,	0,25
Ti	0,05	t,d,	0,28	t,d,	t,d,	0,14
Al ₂ O ₃	11,99	3,65	29,33	8,23	5,44	24,90
Al	6,35	1,93	15,53	4,36	2,88	13,19
Fe ₂ O _{3T}	0,99	0,95	2,06	0,17	0,01	0,59
Fe	0,69	0,66	1,44	0,12	0,01	0,41
MnO	0,02	0,06	0,01	t,d,	t,d,	t,d,
Mn	0,01	0,03	0,01	t,d,	t,d,	t,d,
CaO	3,74	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02
Ca	2,68	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01
MgO	0,44	0,03	0,19	0,02	0,02	0,10
Mg	0,27	0,02	0,11	0,01	0,01	0,06
Na ₂ O	2,48	0,34	0,113	0,06	0,05	0,10
Na	1,84	0,25	0,08	0,04	0,04	0,07
K ₂ O	3,25	0,76	0,983	0,47	0,14	0,22
K	2,69	0,63	0,81	0,39	0,12	0,18
P ₂ O ₅	0,04	t,d,	0,03	t,d,	t,d,	0,01
P	0,02	t,d,	0,02	t,d,	t,d,	0,01
LOI	4,35	0,74	15,44	3,39	2,36	4,12
<i>Unsur jejak dan UTJ (ppm)</i>						
Sc	0,05	0,17	2,94	-	-	0,04
V	10,82	8,22	15,33	-	-	7,00
Ga	9,51	6,65	34,92	-	-	13,12
Rb	159,70	66,68	76,27	-	-	9,16
Sr	186,29	7,87	17,33	-	-	6,05
Y	21,24	26,87	30,67	-	-	13,45
Nb	2,93	1,60	34,16	-	-	4,43
Cs	4,00	2,63	5,61	-	-	1,61
Ba	39,05	21,83	54,55	-	-	11,60
La	26,57	11,04	16,16	-	-	5,44
Ce	36,30	28,50	42,53	-	-	16,32
Pr	6,50	2,90	3,56	-	-	1,41
Nd	22,48	10,46	12,59	-	-	5,24
Sm	5,49	3,18	3,75	-	-	1,59
Eu	0,13	0,04	0,15	-	-	0,04
Gd	4,43	4,72	3,96	-	-	1,50
Tb	0,82	0,67	0,89	-	-	0,34
Dy	5,07	4,46	6,34	-	-	2,41
Ho	0,98	0,98	1,37	-	-	0,53
Er	2,92	2,78	3,66	-	-	1,47
Tm	0,44	0,61	0,71	-	-	0,31
Yb	3,13	4,59	4,91	-	-	2,32
Lu	0,40	0,75	0,73	-	-	0,40
Th	17,35	45,28	65,01	-	-	28,80
U	4,56	10,86	11,06	-	-	5,25
ΣUTJ	115,65	75,68	101,29	-	-	39,32
(La/Lu)N	6,88	1,53	2,30	-	-	1,40

dung Al₂O₃ yang sedikit (3,65% - 8,23%) namun dengan komposisi SiO₂ yang tinggi. Sampel pasir di pantai Pelawan kemungkinan banyak berasal dari hasil pelapukan batuan granitik yang banyak tersingkap di sana dengan mengacu kepada komposisi CaO, Na₂O, dan K₂O yang jauh lebih tinggi daripada sampel-sampel lain. Kelimpahan MnO dan P₂O₅ pada sampel

terdeteksi sangat rendah bahkan beberapa diantaranya di bawah limit deteksi. Hampir seluruh sampel *tailing* di Meral merupakan pasir kuarsa berdasarkan SiO₂ yang sangat tinggi (93,3%) dengan jumlah material volatil yang sangat sedikit (LOI 0,74%).

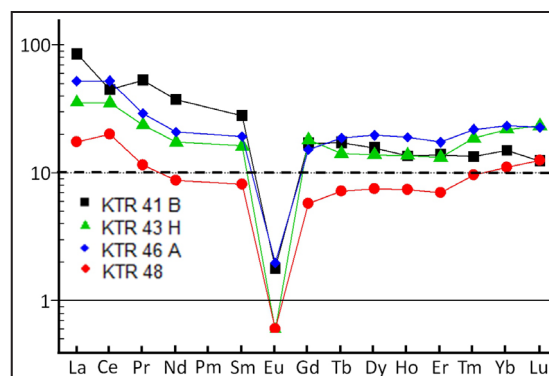
Empat sampel telah diperiksa kadarnya menggunakan ICP-MS. Lokasi KTR 46 dianggap

sudah dapat terwakilkan oleh sampel KTR 46 A, sehingga dua sampel lain tidak diperiksa kadar unsur jejak dan UTJ-nya. Kadar Rb dan Sr pada sampel pasir pantai jauh lebih tinggi daripada sampel lain. Namun demikian sampel tersebut mengandung bahan radioaktif paling sedikit dengan jumlah Th dan U masing-masing 17,35 ppm dan 4,56 ppm secara berurutan. Unsur La, Ce, dan Nd adalah UTJ paling dominan pada sampel yang dianalisis seperti dapat dilihat pada Gambar 5. Kadar total UTJ+Y berada pada tingkat menengah dengan rentang 52,77 ppm (KTR 48) hingga 136,90 ppm (KTR 41 B).



Gambar 4. Persentasi elemen UTJ pada seluruh sampel. Dapat diperhatikan bahwa UTJ didominasi oleh La, Ce, dan Nd.

Kadar UTJ pada sampel berkisar antara 0,6 hingga 95 kali lipat nilai kondrit seperti dapat dilihat pada diagram laba-laba (Gambar 6). Secara umum sampel *tailing* tidak menunjukkan derajat kemiringan yang tinggi dari UTJ-ringannya menuju UTJ-berat dengan rentang La_N/Lu_N 1,40 hingga 2,29. Anomali Ce^* positif dan anomali Eu^* negatif ditampilkan oleh tiga sampel (KTR 43 H, KTR 46 A, dan KTR 48). Perbedaan pola dapat diamati pada sampel pasir pantai dengan kemiringan jauh lebih besar ($La_N/Lu_N = 6,88$) dan anomali Ce^* negatif. Fakta tersebut semakin menjelaskan bahwa sampel pasir pantai terbentuk melalui mekanisme pengendapan yang berbeda dengan sampel-sampel *tailing*.



Gambar 5. Hasil normalisasi kadar UTJ pada sampel dari Karimun terhadap nilai kondrit (Boynton, 1984). Sampel pasir pantai (KTR 41 B) menunjukkan perbedaan dengan kurva yang lebih curam dan anomali Ce^* negatif.

Prospeksi bahan sisa pertambangan menjadi menarik karena material ini dianggap sebagai ampas dan mencemari lingkungan. Bahan ini biasanya berada di permukaan tanah sehingga mudah diambil untuk selanjutnya diolah. Walaupun berada di dasar kolong, biasanya pada kedalaman yang tidak lebih dari 3 m. *Tailing* juga merupakan bahan yang lunak sehingga tidak memerlukan biaya penghancuran seperti dalam kegiatan penambangan mineral dari *hard-rock*. *Tailing* memiliki luas permukaan yang tinggi sehingga memperbesar efektifitas reaksi pada proses benefiasinya. Semakin banyak bahan berharga pada *tailing* yang dapat dipisahkan maka akan semakin mengurangi beban lingkungan.

Dua sampel dari dasar kolong (KTR 46 A dan KTR 48) mengandung kadar Al_2O_3 24,9% dan 29,33% yang bahkan jauh lebih banyak bila dibandingkan dengan kandungannya pada Granit Karimun (<16%) seperti dijelaskan oleh Irzon (2017). Komposisi ini memang belum cukup besar untuk langsung dijual, namun masih memerlukan tahapan pemisahan alumina dari bahan lain. Kelimpahan cerium pada KTR 46 A dan KTR 48 masing-masing adalah 42,53 ppm dan 16,32 ppm atau setara dengan 42% dari ΣUTJ pada sampel tersebut (Gambar 4). Meskipun porsi cerium pada KTR 48 juga tinggi, jumlah UTJ pada sampel ini (39,32 ppm) jauh lebih kecil daripada KTR 46 A (101,29 ppm). Dengan mempertimbangkan kuantitas *tailing* dan luas

permukaan bidang kontak material limbah, cerium pada *tailing* dari di Jelutung cukup menarik untuk diproses lebih lanjut.

Limbah tentu merupakan sumber polusi sehingga perlu adanya studi agar tidak berdampak semakin luas. Mekanisme penentuan derajat kontaminasi hingga polusi telah dijelaskan oleh Lacatusu (2000) dengan penggunaan limit pencemaran yang ditetapkan oleh pemerintah setempat. Suatu bahan dikategorikan menyebabkan polusi dengan indeks pencemaran $\geq 1,1$, sedangkan nilai yang lebih rendah diklasifikasikan sebagai kontaminasi seperti terperinci pada Tabel 2. Limit ini dapat berlainan dengan pertimbangan ekonomi, politik, dan sains dari setiap negara (Wu dr., 2014). Hingga kini pemerintah Indonesia belum menetapkan parameter ambang batas pencemaran logam berat maupun radioaktif pada tanah. Oleh sebab itu, komposisi ambang batas dari Malaysia (JASM, 2009) diadopsi atas dasar kemiripan kondisi iklim, geologi, dan sosial dengan lokasi studi. Nilai ambang batas kadar uranium dari Kanada

(CCME, 2007) dijadikan tolok ukur karena tidak terdapat pada acuan dari Malaysia.

Sampel yang sesuai untuk melalui pengukuran indeks polusi adalah KTR 41 B, KTR 43 H, KTR 46 B, dan KTR 46 C. Dua sampel lain tidak melalui uji ini karena bukan sampel permukaan namun diambil dari dasar kolong. Hasil perhitungan indeks pencemaran terangkum pada Tabel 3. Berdasarkan perhitungan tersebut, kadar besi, stronsium, vanadium, dan uranium pada seluruh lokasi masih berada pada tingkat aman dengan $IP < 1,00$. Wilayah pantai Pelawan dikategorikan sebagai daerah paling berbahaya karena logam Al, K, dan Mg terdeteksi sebagai polutan tingkat menengah hingga sangat berat. Daerah pembuangan *tailing* di Meral (KTR 43) tercemar polusi magnesium ($IP\ 1,42$) dan potasium ($IP\ 4,24$) masing-masing pada tingkat ringan dan cukup berat secara berurutan. Lokasi sekitar kolong di Jelutung relatif paling aman dari cemaran karena hanya tercemar oleh aluminium dan potasium tingkat ringan dan menengah.

Lahan yang rusak akibat proses pertambangan dapat diperbaiki dengan berbagai program ameliorasi maupun konservasi, seperti rehabilitasi, regenerasi, revegetasi/reboisasi, reforestrasi, dan penambahan bahan kimia biotik maupun abiotik. Peningkatan kadar potasium dapat diakibatkan oleh pembakaran lahan yang tentu disertai dengan produksi karbon monoksida (Huboyo dr., 2014). Namun demikian, potasium bersama dengan nitrogen dan fosfor adalah sumber nutrisi bagi tumbuhan sehingga kelebihan kadarnya pada tanah dapat dengan mudah

Tabel 2. Sepuluh tingkat signifikansi pencemaran berdasarkan indeks polusi (sumber Lacatusu, 2000)

Indeks Polusi (IP)	Tingkat Signifikansi
<0,1	Kontaminan sangat rendah
0,1 - 0,25	Kontaminan rendah
0,26 - 0,50	Kontaminan menengah
0,51 - 0,75	Kontaminan berat
0,76 - 1,00	Kontaminan sangat berat
1,1 - 2,0	Polutan ringan
2,1 - 4,0	Polutan menengah
4,1 - 8,0	Polutan cukup berat
8,1 - 16,0	Polutan berat
>16,0	Polutan sangat berat

Tabel 3. Hasil perhitungan indeks pencemaran (IP) dari tiga lokasi pada studi ini

Cemaran Logam	Ambang batas (ppm)	Negara Acuan	Indeks Pencemaran (IP)			
			KTR 41 B	KTR 43 H	KTR 46 B	KTR 46 C
Aluminium, Al	42.567	Malaysia	2,82	0,86	1,93	1,28
Besi, Fe	12.14		0,57	0,54	0,10	0,01
Potasium, K	1.485		18,11	4,24	2,63	0,81
Magnesium, Mg	141		19,15	1,42	0,71	0,71
Stronsium, Sr	5850		0,03	<0,01		
Vanadium, V	31,6		0,34	0,26		
Uranium, U	23	Kanada	0,20	0,47		

diatasi melalui program reboisasi (Purwanto dan Sudrajat, 2020). Aluminium akan berbahaya jika bereaksi dengan air dan tersimpan dalam sumber air minum yang digunakan makhluk hidup. Polusi aluminium dapat ditanggulangi dengan penggunaan bakteri pengurai yang juga dapat memperbaiki pH tanah (Purwanti drr., 2019). Penggunaan pupuk organik, reaksi elektrolisis, dan penggunaan bahan kimia ramah lingkungan pada dosis tertentu (seperti kalsium superfosfat dan amonium sulfat) dapat menjadi opsi untuk memperbaiki kondisi lingkungan akibat kelebihan kadar magnesium (Li drr., 2015; Pan drr., 2016).

KESIMPULAN

Enam sampel dari empat lokasi berbeda telah dianalisis untuk mengetahui prospek maupun dampak lingkungan akibat penambangan timah di Pulau Karimun. Sebagian besar sampel terdiri dari pasir kuarsa berdasarkan tingginya kadar SiO_2 pada seluruh sampel (rerata 77,38%). Sampel yang berasal dari dasar kolong terbukti masih mengandung Al_2O_3 yang lebih tinggi, sedangkan sampel dari hamparan *tailing* justru berkomposisi SiO_2 yang relatif lebih tinggi. Kadar total UTJ+Y berada pada tingkat menengah pada rentang 52,77 ppm hingga 136,90 ppm. Beberapa sampel berkonsentrasi Ce yang cukup besar hingga mencapai 42 ppm. Limbah timah merupakan bahan buangan, berada tidak jauh dari permukaan, lunak, dan memiliki luas permukaan yang besar sehingga kandungan alumina dan Ce-nya patut untuk dipisahkan agar menjadi material dengan nilai jual yang jauh lebih tinggi. Pada sisi lain, bahan buangan penambangan timah terbukti telah menyebabkan pencemaran aluminium, magnesium, dan potasium pada tingkat beragam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sepenuhnya didanai melalui kegiatan Pusat Survei Geologi mengenai UTJ di Kabupaten Bintan dan Karimun. Penulis berter-

imakasih kepada Kepala Pusat Survei Geologi atas ijin publikasinya. Bapak Prof. Hamzan Zainal Abidin, Bapak Baharuddin Abdullah, dan Ibu Sam Permanadewi telah memberi masukan mengenai korelasi komposisi geokimia dan kondisi geologi. Asistensi dari Bapak Kurnia dan Ibu Erna sangat berharga dalam pengerjaan di Laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Abaka-Wood, G. B., Zanin, M., Addai-Mensah, J., and Skinner, W. 2019. Recovery of rare earth elements minerals from iron oxide-silicate rich tailings-Part 1: Magnetic separation. *Minerals Engineering*, 136, p.50-61. DOI:10.1016/j.mineng.2019.105888.
- Asmarhansyah, Badayos, R.B., Sanchez, P.B., Cruz, P.C.S. and Florece, L.M., 2017. Land suitability evaluation of abandoned tin-mining areas for agricultural development in Bangka Island, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 4(4), p.907-918. DOI:10.15243/jd-mlm.2017.044.907
- Azhar, A., Kamaruzzaman, D., and Azuan, M. K. 2020. Mechanical Sieve Grading of Silica Sand from Tin Mining for Metal Casting Mould. In *Advancement in Emerging Technologies and Engineering Applications*. p.143-155. Springer, Singapore. DOI:10.1007/978-981-15-0002-2_16.
- Bahri, C. N. A. C. Z., Al-Areqi, W. M., Majid, A. A. and Ruf, M. I. F. M., 2016. Production of rare earth elements from Malaysian monazite by selective precipitation. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 20 (1), p.44-50.
- Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. *Developments in Geochemistry*, 2, p.63-114.
- Cameron, N.R., Ghazali, S.A., and Thompson, S.J., 1982. *Geologic Map of The Bengkalis Quadrangle, Sumatra, scale 1: 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 2007. *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.
- Domingo, J.P.T. and David, C.P.C., 2014. Soil amelioration potential of legumes for mine tailings. *Philippine Journal of Science*, 143 (1), p.1-8.
- Gardiner, N.J., Sykes, J.P., Trench, A., Jobb, L.J., 2015. Tin mining in Myanmar: Production and potential. *Resources Policy*, 46, p.219-233. DOI:10.1016/j.resourpol.2015.10.002
- Gardiner, N.J., Searle, M.P., Morley, C.K., Whitehouse, M.P., Spencer, C.J., and Robb, L.J., 2016. The closure of Palaeo-Tethys in Eastern Myanmar and Northern Thailand: New insights from zircon U–Pb and Hf isotope data. *Gondwana Research*, 39, p.401-422. DOI:10.1016/j.gr.2015.03.001
- Ghani, A. A., Searle, M., Robb, L., and Chung, S.L., 2013. Transitional IS type characteristic in the main range granite, Peninsular Malaysia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 76, p.225-240. DOI:10.1016/j.jseaes.2013.05.013.
- Hastiawan, I., Firmansyah, F., Juliandri, J., Eddy, D.R., and Noviyanti, A.R., 2016. Pemisahan Lanthanum dari Limbah Hasil Pengolahan Timah dengan Menggunakan Metode Pengendapan Bertingkat. *Chimica et Natura Acta*, 4 (2), p.93-96.
- Hidayah, N.N. and Abidin, S.Z., 2018. The evolution of mineral processing in extraction of rare earth elements using liquid-liquid extraction: A review. *Minerals Engineering*, 121, p.146-157. DOI:10.1016/j.mineng.2018.03.018.
- Huboyo, H.S., Tohno, S., Lestari, P., Mizohata, A., and Okumura, M., 2014. Characteristics of indoor air pollution in rural mountainous and rural coastal communities in Indonesia. *Atmospheric Environment*, 82, p.343-350. DOI:10.1016/j.atmosenv.2013.10.044.
- Hutamadi, R. 2007. Inventarisasi Potensi Bahan Galian Pada Wilayah Bekas Tambang Di Daerah Karimun, Propinsi Kepulauan Riau. *Proceeding Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun*.
- Irzon, R. 2017. Geochemistry of Late Triassic weak Peraluminous A-Type Karimun Granite, Karimun Regency, Riau Islands Province. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4 (1), p.21-37. DOI:10.17014/ijog.4.1.21-37.
- Irzon, R. 2018. Tingkat Pencemaran Logam Berat Pada Contoh Tanah dari Pulau Selayar, Kabupaten Lingga. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 9 (2), p.87-96. DOI:10.34126/jlbg.v9i2.204.
- Irzon, R., Syafri, I., Hutabarat, J., Sendjaja, P., and Permanadewi, S. 2018. Heavy metals content and pollution in tin tailings from Singkep Island, Riau, Indonesia. *Sains Malaysiana*, 47 (11), p.2609-2616. DOI:10.17576/jsm-2018-4711-03.
- Irzon, R., Kurnia, K., dan Haryanto, A.D., 2020a. Presisi Pengukuran Produk Sampling Tambang Timah Nudur Menggunakan Analisis XRF dan Peluang Ekonomi Produknya. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 16 (2), h.69-79. DOI:10.30556/jtmb.Vol16.No2.2020.1089.
- Irzon, R., Syafri, I., Ghani, A. A., Prabowo, A., Hutabarat, J., and Sendjaja, P., 2020b. Petrography and geochemistry of the Pinkish Lagoi Granite, Bintan Island: Implication to magmatic differentiation, classification, and tectonic history. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 69, p.27-37. DOI:10.7186/bgsm69202003
- Irzon, R., Syafri, I., Suwarna, N., Hutabarat, J., Sendjaja, P., and Setiawan, V.E., 2021. Geochemistry of plutons in central Sumatra and their correlation to Southeast Asia tectonic history. *Geologica Acta*, 19 (9), p.1-14, I-III. DOI: 10.1344/GeologicaActa2021.19.9
- Jabatan Alam Sekitar Malaysia (JASM), 2009. *Contaminated Land Management and Control Guidelines No. 1: Malaysian Recommended Site Screening Levels for Contaminated Land*. Malaysian Ministry of Natural Resources and Environment, Putrajaya.

- Kamari, A., Yusof, N., Abdullah, H., Haraguchi, A., and Abas, M.F., 2017. Assessment of heavy metals in water, sediment, *Anabas testudineus* and *Eichhornia crassipes* in a former mining pond in Perak, Malaysia. *Chemistry and Ecology*, 33 (7), p.637-651. DOI:10.1080/02757540.2017.1351553.
- Lacatusu, R., 2000. Appraising levels of soil contamination and pollution with heavy metals. *European Soil Bureau* 4, p.93-102.
- Li, X., Zhu, W., Wu, Y., Wang, C., Zheng, J., Xu, K., and Li, J. 2015. Recovery of potassium from landfill leachate concentrates using a combination of cation-exchange membrane electrolysis and magnesium potassium phosphate crystallization. *Separation and Purification Technology*, 144, p.1-7. DOI:10.1016/j.seppur.2015.01.035.
- Ng, S.W.P., Whitehouse, M.J., Roselee, M. H., Teschner, C., Murtadha, S., Oliver, G. J., Ghani, A.A. and 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*, 138, p.548-561. DOI:10.1016/j.jseaes.2017.03.002.
- Nurtjahya, E., Franklin, J. & Agustina, F. 2017. The Impact of tin mining in Bangka Belitung and its reclamation studies. In *MATEC Web of Conferences* 4010, 1-6.
- Pan, D., Chu, Y., Zhao, X., and Shan, M., 2016. Research on Magnesium Pollution Status and Remediation of Tilted Soils in Haicheng Magnesium Mine. In *2016 International Conference on Civil, Transportation and Environment*. Atlantis Press.
- Purwadi, I., van der Werff, H. M., and Lievens, C., 2020. Targeting rare earth element bearing mine tailings on Bangka Island, Indonesia, with Sentinel-2 MSI. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 88, 102055. DOI:10.1016/j.jag.2020.102055.
- Purwanti, I.F., Kurniawan, S.B. and Imron, M.F., 2019. Potential of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from aluminium-contaminated site in aluminium removal and recovery from wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 15, 100422. DOI:10.1016/j.eti.2019.100422.
- Purwanto, O.D. and Sudrajat, 2020. Determination of optimum rate of phosphorus and potassium fertilizers for a four-year-old oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 418 (1).
- Ross, C., 2014. The tin frontier: Mining, empire, and environment in Southeast Asia, 1870s–1930s. *Environmental History*, 19 (3), p.454-479.
- United States Geological Survey (USGS). 2021. Tin Mineral Commodity Summaries.
- Sanusi, M.S.M., Ramli, A.T., Hashim, S., and Lee, M.H., 2021. Radiological hazard associated with amang processing industry in Peninsular Malaysia and its environmental impacts. *Ecotoxicology and environmental safety*, 208. DOI:10.1016/j.ecoenv.2020.111727
- Sanusi, M.S.M., Ramli, A.T., Basri, N.A., Heryanshah, A., Said, M.N., Lee, M.H., Wagiran, H., and Saleh, M.A., 2017. Thorium distribution in the soils of Peninsular Malaysia and its implications for Th resource estimation. *Ore Geology Reviews*, 80, p.522-535. DOI:10.1016/j.oregeorev.2016.07.021.
- Setiady, D., Syafri, I., and Aryanto, N.C.D. 2019. The Existence of Tin Placer Relation With Tin Belt In Kundur Waters Area Riau archipelago Province. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1363 (1).
- Suhari, S., 2012. Prediksi tingkat pencemaran air tanah dangkal daerah Bandung, Jawa Barat. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 3 (3), p.169-179. DOI:10.34126/jlbg.v3i3.43.
- Tunsu, C., Menard, Y., Eriksen, D. Ø., Ekberg, C., and Petranikova, M., 2019. Recovery of critical materials from mine tailings: a comparative study of the solvent extraction of rare earths using acidic, solvating and mixed extractant systems. *Journal of Cleaner*

- Production*, 218, p.425-437. DOI:10.1016/j.jclepro.2019.01.312.
- Wu, J., Teng, Y., Lu, S., Wang, Y., and Jiao, X., 2014. Evaluation of soil contamination indices in a mining area of Jiangxi, China. *PLoS NE* 9 (11), e112917. DOI:10.1371/journal.pone.0112917.