

Studi Unsur Radioaktif Thorium (Th) dan Uranium (U) di Pulau Bangka (*The Study of Th and U Elements in Bangka Island*)

Irvani¹ Janiar Pitulima¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Bangka Belitung

Abstract

As one of the island that producing tin ore mineral (cassiterite), Bangka Island has probably a big potential of tin associated mineral that contains radioactive elements like Thorium (Th) and Uranium (U). Th and U can be one of potential future prospect elements especially for nuclear energy. Th and U elements bearing minerals in Bangka Island not yet exploited. They take out from the tin ore mining and becoming tailing, and then through the surface water flows or shallow sea water as sediment. The study goal is to getting the number of radioactive Th and U elements using surface sediment sample and then interpretation some part of their spatial distribution form. The Surface sediment data has been collected on 2 sites Kolong in Muntok District West Bangka Regency, 3 sites in Merawang District Bangka Regency, 9 sites in Pangkalpinang City, 2 sites in Central Bangka Regency and 2 sites in South Bangka Regency. Chemistry analysis of sediments for identification the presence of Th and U elements. Radioactive element of Uranium (U) almost presence at all shallow surface sediment 4.842 - 229.2 ppm except nul in 1 sample. Thorium (Th) just presence in a part of sediment sample. One site as especially case study Kacang Pedang Retention Ponds, shows Th and U radioactive elements has the heterogeneity spatial pattern.

Keywords : Elements, Radioactive, Sediment

1. Pendahuluan

Pulau Bangka memiliki kekayaan mineral timah berupa cassiterite yang melimpah banyaknya, dan telah dilakukan penambangan semenjak ratusan tahun yang lalu. Pada aktivitas penambangan bijih timah cassiterite juga dihasilkan berbagai mineral ikutan, diantaranya berupa ilmenite dan monazite yang mengandung sejumlah unsur-unsur tanah jarang (Rare Earth Minerals/REE) beserta unsur-unsur bersifat radioaktif seperti Thorium (Th) dan Uranium (U). Mineral ikutan tersebut selama ini belum menjadi fokus dieksploitasi untuk diambil unsur-unsur berharga yang terdapat di dalamnya. Umumnya mineral ikutan tersebut terbuang begitu saja pada proses penambangan bijih timah ke dalam tailing penambangan.

Kekayaan unsur radioaktif yang terdapat di Pulau Bangka tidak terlepas dari posisi setting geologi Pulau Bangka dan sekitarnya yang terletak pada Sabuk Timah Asia Tenggara (*The South East Asia Tin Belt*) (Cobbing, 2005), membujur dari Thailand, Myanmar, Malaysia, Kepulauan Riau, hingga Pulau Bangka dan Belitung. Hal ini dimungkinkan bahwa aktivitas magmatisme yang bersifat asam membentuk batuan beku granitik yang kaya unsur radioaktif.

Batuan beku granit tersebar secara luas di berbagai tempat Pulau Bangka membentuk bukit-bukit intrusi sebagai tubuh batholit yang terpisahkan satu dengan yang lain. Bukit-bukit granit dikelilingi oleh dataran rendah Pulau Bangka yang dikenal dengan morfologi dataran *penepain* (Van Bemmelen, 1970). Sangat dimungkinkan batuan beku granit di Pulau Bangka merupakan batuan inti (*Craton*) dari Sundaland. Sebagaimana telah disebutkan oleh Barber et al. (2005), bahwa setting geologi Pulau Bangka terletak pada inti benua dari *Sundaland Craton* Lempeng Eurasia.

PT Timah (Persero) Tbk tercatat melakukan pengolahan berbagai mineral ikutan timah yang diantaranya mengandung unsur radioaktif beserta unsur tanah jarang (REE), akan tetapi kewenangan dan pengawasannya dilakukan oleh Badan Tenaga Atom Nasional BATAN (Sujitno, 2015b). Adapun proses lanjutan untuk pemisahan dan pengayaan unsur-unsur radioaktif yang berasal dari mineral ikutan timah belum dilakukan, sehingga baru sebatas potensi sampingan dari komoditas pertambangan bijih timah yang belum dapat dikomersilkan.

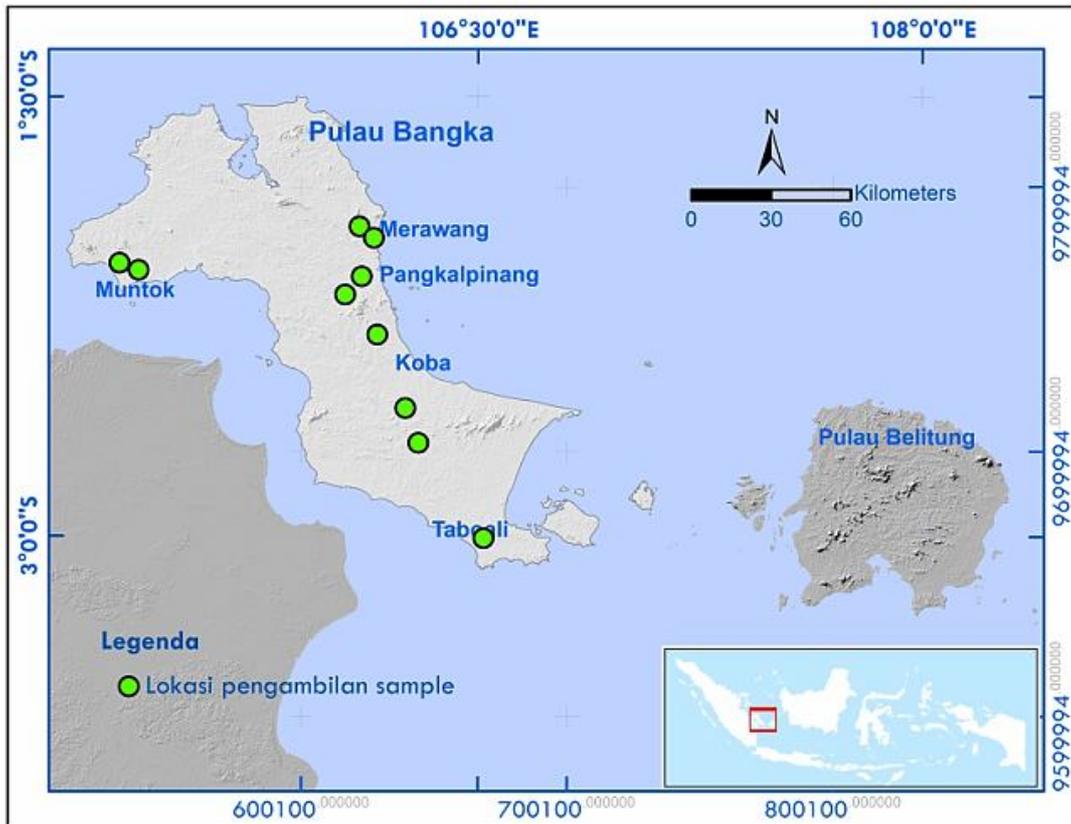
Nilai ekonomis yang sangat tinggi dari unsur-unsur radioaktif tersebut untuk bahan bakar pembangkit listrik tenaga nuklir memerlukan aktivitas eksplorasi yang sistematis dan berkelanjutan, sehingga dapat diinventarisir potensi kekayaannya yang terdapat di Pulau Bangka. Oleh karena itu perlu dilakukan upaya penelitian untuk mendapatkan gambaran sebaran unsur radioaktif yang terdapat di Pulau Bangka.

* Korespondensi Penulis: (Irvani) Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Bangka Belitung, Kawasan Kampus Terpadu UBB Kecamatan Merawang Kabupaten Bangka.
Email: bujangbabel@yahoo.co.id

Lokasi Penelitian

Penelitian unsur radioaktif Th dan U dilakukan pada beberapa lokasi yang terdapat di Pulau Bangka yang terdapat di Kecamatan Muntok Kabupaten Bangka Barat, Kecamatan Sungailiat Kabupaten Bangka dan Kota Pangkalpinang,

Kecamatan Koba Kabupaten Bangka Tengah dan Kecamatan Taboali Kabupaten Bangka Selatan. Gambar 1 merupakan peta yang menunjukkan posisi relatif lokasi penelitian. Secara umum lokasi penelitian berupa kolong yang merupakan eks lokasi penambangan bijih timah.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Tinjauan Pustaka

Pulau Bangka memiliki kondisi geologi yang menarik, disusun secara dominan oleh batuan metamorf dan sedimen tua, serta batuan beku yang berumur ratusan juta tahun. Menurut Mangga & Djamal (1994) dan Margono dkk (1995), secara berurutan batuan tertua di Pulau Bangka diwakili oleh Kompleks Malihan Pemali yang berumur Karbon-Perm, Batuan beku Diabas Penyabung yang berumur Perm-Trias, Batuan sedimen tua Formasi Tanjung Genting berumur Trias, batuan beku asam Granit Klabat berumur Trias-Jura, batuan sedimen berumur Kuartar yang belum terkompaksikan Formasi Ranggung, dan Endapan Aluvial berumur Tersier dari endapan sungai, rawa dan pantai yang bersifat lepas.

Pada Trias-Jura batuan beku Granit Klabat mengintrusi formasi batuan yang berumur lebih tua, yaitu Kompleks Malihan Pemali, Diabas Penyabung dan Formasi Tanjung Genting, dengan jenis batumannya terdiri dari granit, granodiorit, adamalit, diorit dan diorit kuarsa,

dimana secara setempat-setempat dijumpai retas aplit dan pegmatit (Mangga & Djamal, 1994 dan Margono dkk, 1995). Batuan beku granit tersebut memiliki tipe I dan S, serta secara sporadis bertipe A, terletak pada Sabuk Timah Asia Tenggara (*The South East Asia Tin Belt*) (Cobbing, 2005). Batuan beku granit yang terbentuk pada periode magmatik paling muda diyakini ikut serta membawa mineral yang mengandung timah, dan disebut dengan *Tin Granite* (Katili, 1967).

Lebih lanjut Sujitno (2015a) menuliskan bahwa urat-urat kuarsa pada batuan sedimen yang berumur lebih tua mengandung timah primer cassiterite, sehingga keterdapatannya berhubungan dengan intrusi batuan beku granit terhadap batuan sedimen dan metasedimen. Urat-urat timah primer juga dimungkinkan berhubungan dengan urat-urat besi (*iron cap*) yang terdapat pada greisen. Berbagai jenis mineral lain (*associated minerals*) sebagai mineral ikutan yang ditemukan bersamaan dengan cassiterite, diantaranya berupa kuarsa,

zirkon, rutil, ilmenit, siderit, xenotim dan monasit. Mineral Monasit dan xenotim merupakan mineral ikutan yang mengandung sejumlah unsur-unsur tanah jarang (*Rare Earth Minerals/REE*) serta unsur-unsur radioaktif berupa Thorium (Th) dan Uranium (U). Menurut Krahulec (2011) endapan REE berasosiasi dengan unsur radioaktif Th dan U, dimana sebagai gambaran, bahwa tercatat produksi REE terbesar dunia dipegang oleh Negara Cina.

McLemore (2012) yang melakukan penelitian REE dan unsur Th dan U di Meksiko, menemukan keterdapat unsur radioaktif Th dan U secara primer berupa urat-urat hidrothermal yang berasosiasi dengan batuan karbonatit dan alkaline, pegmatit, dan sejumlah kecil pada endapan fosfat dan batupasir. Selain itu pengkonsentrasian mineral-mineral yang mengandung unsur radioaktif Th dan U dijumpai pada sistem placer yang terbentuk oleh proses sedimentasi sungai dan pantai. Sebelumnya Christie et al. (1998) menyatakan unsur Th dan U juga ditemukan sebagai cebakan skarn dan residual.

USGS (2017) mencatat sumberdaya utama unsur radioaktif Th dunia terdapat pada endapan-endapan placer, karbonatit dan endapan tipe urat. Unsur Th dijumpai pada beberapa mineral termasuk monasit, thorit dan thorionit. Sumberdaya Th dengan kekayaan besar terdapat di Negara Australia, Brazil dan India Adapun sumberdaya U dunia berdasarkan laporan IAEA & EOC (2014), secara berturut-turut dimiliki oleh Negara Australia, Kazakhstan, Rusia dan Canada.

Jika dikaitkan dengan setting geologi Pulau Bangka yang banyak ditutupi oleh endapan Aluvial seperti diilustrasikan Crow & Barber (2005), Mangga & Djamal (1994) dan Margono dkk (1995), maka kehadiran mineral yang mengandung unsur-unsur radioaktif diperkirakan juga berlimpah, tersebar di daratan dan lautan Pulau Bangka mengikuti alur-alur purba sedimentasi sebagai endapan lepas. Endapan aluvial tersebut merupakan hasil dari pelapukan batuan yang kaya mineral, dan sangat dimungkinkan berhubungan dengan sistem *placer cassiterite* sebagaimana dikemukakan Aleva (1975). Hal ini senada dengan dijumpainya mineral-mineral yang mengandung unsur-unsur radioaktif pada aktivitas penambangan bijih timah (Sujitno, 2015b), baik penambangan yang dilakukan di daratan (*offshore*) maupun perairan laut (*onshore*).

Unsur-unsur radioaktif berupa Thorium (Th) dan Uranium (U) dengan konsentrasi tinggi dapat ditemukan pada tailing penambangan bijih timah (Nasirian et al., 2008). Szamalek et al. (2013) menjumpai unsur Th dan U pada tailing penambangan timah dalam bentuk inklusi pada

mineral monasit dan xenotim berupa thorium silikat dan uranium silikat, dimana secara khusus pada mineral monasit kandungan unsur Th lebih besar beberapa kali dibandingkan dengan U. Sebagai ilustrasi, dari mineral monasit dapat mengandung sampai 30% Th dan sejumlah kecil atau sekitar 1% U (Christie et al., 1998). Tailing merupakan tanah bekas tambang yang terhampar sebagai rawa atau tanah kering dari tanah pasiran dengan berkomposisi utama partikel padatan mineral-mineral berukuran pasir dan kerikil (Sujitno, 2015a).

Secara geologis Pulau Bangka memiliki bahan radioaktif alamiah berupa deret Uranium (U-238), deret Thorium (Th-232) dan Kalium (K-40). Proses penambangan bijih timah memberikan hasil sampingan berupa slag, mineral monasit, ilmenit, lumpur/tailing dan air tailing yang mengandung bahan radioaktif alamiah. Produk sampingan yang mengandung bahan radioaktif tersebut berpotensi memberikan dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat dan dapat mencemari lingkungan sekitar, terutama dari gas Thoron (Th-220) dan Radon (Rn-222) (Susiaty dkk, 2011). Secara khusus pada area lokasi penambangan dan pengolahan bijih timah yang banyak terdapat endapan tailing di Pulau Bangka memiliki tingkatan radiasi tertinggi (Wahyudi, 2003).

Pencatatan berbagai dampak negatif unsur-unsur radioaktif terhadap manusia dan hewan di Pulau Bangka tidak ditemukan penulis pada berbagai literatur yang telah dipublikasikan, akan tetapi sebagai ilustrasi seperti yang dikemukakan oleh IPPNW (2010) dan Boulanger & Gorman (2004), contoh dampak negatif dari pencemaran radiasi yang dapat dijumpai dari aktivitas penambangan U terhadap manusia diantaranya dapat berupa kanker paru-paru, leukemia, kanker perut dan mempengaruhi kelahiran bayi. Hal tersebut senada sebagaimana yang dipublikasikan oleh IAEA (2003), bahwa keberadaan Th dan U yang banyak ditemukan sebagai sisa hasil ekstraksi penambangan dalam bentuk tailing dapat menyebabkan pencemaran lingkungan di sekitarnya berupa pancaran radiasi yang ditimbulkan.

Pada pemanfaatannya, unsur Th dan yang paling umum unsur U telah digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga nuklir (IAEA, 2003). Berdasarkan World Nuclear Association (2009), unsur Th merupakan salah satu unsur radioaktif yang terbentuk secara alami di lapisan kerak bumi dengan konsentrasi rendah, dengan kelimpahan sekitar tiga kali lebih banyak daripada unsur U. Unsur radioaktif U merupakan salah satu unsur radioaktif yang juga terbentuk secara alami di lapisan kerak bumi. Uranium merupakan logam dengan densitas yang tinggi ($18,9 \text{ gr/cm}^3$).

2. Metode Penelitian

Lokasi penelitian terdapat pada berbagai tempat yang tersebar di Pulau Bangka, yaitu di Kabupaten Bangka Barat, Kabupaten Bangka, Kota Pangkalpinang, Kabupaten Bangka Tengah dan Kabupaten Bangka Selatan. Pengambilan perconto dilakukan secara sporadis pada bagian endapan sedimen yang terdapat pada bagian dasar berbagai kolong (kolam air) yang merupakan eks lokasi penambangan bijih timah di masa lampau.

Tahapan penelitian meliputi tahap persiapan, survey pendahuluan atau *reconnaissance*, pengambilan data primer, pengayaan data sekunder serta analisis laboratorium terhadap perconto sedimen. Pada setiap titik pengambilan perconto sedimen dilakukan pencatatan posisi geografis menggunakan GPS (*Global Positioning System*).

Adapun detail tahapan penelitian terhadap identifikasi unsur Th dan U berupa :

- 1) Observasi terhadap lokasi penelitian, termasuk proses perizinan,
- 2) Pengumpulan data primer di lapangan dengan pengambilan perconto sedimen pada bagian dasar kolong,
- 3) Analisis laboratorium dengan menggunakan untuk mengidentifikasi kadar unsur Th dan U,
- 4) Interpret, vbnl..
- 5) asi data hasil analisis laboratorium.

3. Hasil dan Pembahasan

Studi unsur radioaktif Thorium (Th) dan Uranium (U) dilakukan pada berbagai lokasi di Pulau Bangka, dimana pengambilan perconto secara khusus dilakukan pada endapan sedimen yang terdapat di permukaan badan air pada berbagai kolong. Secara umum lokasi-lokasi penelitian berhubungan dengan sumberdaya geologi mineral pembawa timah kasiterit dan sekaligus merupakan eks area lokasi penambangan bijih timah di masa lampau. Sangat besar kemungkinan endapan-endapan sedimen tersebut merupakan tailing yang mengandung sejumlah unsur-unsur radioaktif dari mineral ikutan yang berhubungan dengan mineral kasiterit.

Dugaan di atas didasari pengamatan lokasi pengambilan perconto dengan ditemukannya aktivitas panambangan timah skala kecil (tambang inkonvensional/TI) yang dilakukan oleh sekelompok masyarakat pada bagian aliran air atau air sungai yang masuk ke dalam kolong. Akibatnya air kolong berwarna keruh oleh suspensi tailing pada bagian tepian aliran air masuk kolong. Gambar 2 mengilustrasikan kondisi lokasi penelitian. Tabel 1 secara detail menunjukkan jumlah (ppm) hasil analisis kimia unsur-unsur Th dan U yang menunjukkan kehadiran unsur U terdapat hampir di semua perconto sedimen, sedangkan unsur Th hanya terdapat pada sebagian perconto.



Gambar 2. Foto: (A dan B) hamparan tailing pasir pasa eks lokasi penambangan timah/TI dan endapan sedimen yang tebal pada aliran sungai masuk Kolong Retensi Kacang Pedang, (C) Suspensi dari penambangan tiimah/TI di bagian hulu sungai masuk ke Kolong Merawang, dan (D) Ativitas penambangan timah/TI di dekat kolong sumber air baku di Muntok (panah merah)

Unsur Th teridentifikasi hanya pada separuh percontonya yang dianalisis, kecuali pada lokasi Muntok 1 Bangka Barat, Merawang 1, 2 dan 3 di Kabupaten Bangka, dan pada lokasi Pedindang 1, 2 serta Kacang Pedang 1 dan 2, dimana hasil analisis kimia tidak menunjukkan kehadiran unsur Th. Pada berbagai percontonya yang diambil secara intensif di Kolong Retensi Kacang Pedang mengandung unsur Th dengan komposisi tertinggi sebesar 197 ppm.

Adapun unsur radioaktif U teridentifikasi hampir diseluruh percontonya yang dianalisis dengan besaran komposisi 4,842 - 229,2 ppm. Kandungan terbesar U terdapat pada lokasi percontonya di Muntok 2 Kabupaten Bangka Barat, dan tidak hadir pada Percontonya Kacang Pedang 3 Pangkalpinang. Kandungan unsur U yang besar dijumpai pada percontonya yang berasal dari Kabupaten Bangka Barat, Kabupaten Bangka, Kota Pangkalpinang serta Taboali Kabupaten Bangka Selatan.

Ketidakhadiran unsur Th pada berbagai lokasi penelitian seperti yang telah disebutkan diduga

disebabkan ketidakhadiran mineral ikutan yang mengandung unsur radioaktif Th pada percontonya yang diambil pada sedimen permukaan, atau dapat pula diduga bahwa pola distribusi spasial mineral-mineral ikutan pembawa unsur Th tidak merata. Ketidakmerataan distribusi spasial mineral-mineral pembawa unsur Th yang berasosiasi dengan kasiterit, dan hal ini diperkuat oleh kandungan Th yang bervariasi komposisinya pada berbagai percontonya sedimen Kolong Retensi Kacang Pedang, dan bahkan pada beberapa percontonya tidak terdapat unsur Th.

Distribusi spasial unsur U pada Kolong Retensi Kacang Pedang juga menunjukkan hal yang sama seperti unsur Th, yaitu tidak merata secara lateral, walaupun unsur U hadir hampir disemua percontonya. Kehadiran unsur U yang konsisten menunjukkan hampir pada seluruh percontonya sedimen permukaan mengandung mineral-mineral yang membawa unsur U, dan besar kemungkinan berasosiasi dengan mineral kasiterit yang membawa timah.

Tabel 1. Data analisis kuantitatif Thorium (Th) dan Uranium (U) pada endapan sedimen

No	Lokasi Pengambilan Percontonya	Th ppm	U ppm
1	Muntok 1 Kabupaten Bangka Barat	-	167,6
2	Muntok 2 Kabupaten Bangka Barat	15,9	229,2
3	Merawang 1 Kabupaten Bangka	-	160,7
4	Merawang 2 Kabupaten Bangka	-	88,9
5	Merawang 3 Kabupaten Bangka	-	83,2
6	Pedindang 1 Kota Pangkalpinang	-	214,3
7	Pedindang 2 Kota Pangkalpinang	-	177,8
8	Kacang Pedang 1 Kota Pangkalpinang	-	200,7
9	Kacang Pedang 2 Kota Pangkalpinang	-	117,4
10	Kacang Pedang 3 Kota Pangkalpinang	30,3	-
11	Kacang Pedang 4 Kota Pangkalpinang	156	7,8
12	Kacang Pedang 5 Kota Pangkalpinang	197	6,7
13	Kacang Pedang 6 Kota Pangkalpinang	181	10,5
14	Kacang Pedang 7 Kota Pangkalpinang	98	10,1
15	Namang Kabupaten Bangka Tengah	8,190	4,842
16	Nangka Kabupaten Bangka Tengah	27,23	10,526
17	Air Gegas Kabupaten Bangka Selatan	3,404	14,827
18	Taboali Kabupaten Bangka Selatan	15,483	81,381

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan :

1. Unsur Th hanya teridentifikasi pada sebagian percontonya, sedangkan unsur U hadir secara konsisten pada semua percontonya sediment permukaan dengan kandungan variatif.
2. Pola sebaran spasial mineral-mineral pembawa unsur radioaktif Th dan U adalah tidak merata.
3. Mineral-mineral yang mengandung U sangat dimungkinkan berasosiasi dengan mineral pembawa timah kasiterit.

Ucapan Terima Kasih

Atas batuan semua pihak dalam pelaksanaan penelitian dan secara khusus atas bantuan pihak PT Timah (Persero) Tbk dalam analisis geokimia percontonya diucapkan terima kasih.

Daftar Pustaka

- Aleva, G.J.J. 1975. Indonesian Fluvial Cassiterite Placers and Their Genetic Environment. *Journal of Geological Society*, London, Vol. 142, p. 815-836.
- Barber, A.J., Crow, M.J. and De Smet, M.E.M. 2005. *Tectonic Evolution*. In Barber, A.J., Crow, M. J. and Milsom, J. S. (ed.) *Sumatra : Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society Memoir, No. 31.
- Boulanger A. and Gorman, A. (2004) *Hardrock Mining: Risk to Community Health*. Woman's Voices for The Earth. Missouri Department of Natural Resources and Montana Environmental Information Center.
- Christie, T., Brathwaite, B. and Tulloch, A. 1998. Mineral Commodity Report 17 : Rare Earths and Related Elements. Ministry of Economic Development. New Zealand Mining 24: 13 hal.
- Cobbing, E.J. (2005) *Granite*. in Barber, A.J., Crow, M.J. and Milsom, J.S. (ed.) *Sumatra: Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society Memoir, No. 31. Page 54 -62.
- Crow, M.J. and Barber, A.J. 2005. *Simplified Geological Map of Sumatra*. In Barber, A.J., Crow, M.J. and Milsom, J.S. (ed.) *Sumatra : Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society Memoir, No. 31.
- IAEA, 2003. Extent of Environmental Contamination by Naturally Occuring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation. Technical Reports Series No. 419. Vienna.
- IAEA and OECD Nuclear Energy Agency. 2014. Uranium 2014 : Resources, Production and Demand. Joint Report.
- IPPNW. 2010. Health Effects of Uranium Mining: Uranium Mining, Health and Indigenous Peoples. Preconference of The IPPNW-World Congress. University of Basel.
- Katili, J.A. 1967. Structure and Age of The Indonesian Tin Belt With Special Reference to Bangka. *Tectonophysics*, Vol 4 (4-6), p. 403-418. Netherlands.
- Krahulec, Ken. 2011. Rare Earth Element Prospects and Occurrences in Utah. Utah Department of Natural Resources, Utah Geological Survey. Utah Trust Land
- Mangga, A.S. dan Djamal, B. (1994) *Peta Geologi Lembar Bangka Utara dan Bangka Selatan, Sumatra*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Margono, U., Supandjono, R.J.B. dan Partoyo, E. (1995) *Peta Geologi Lembar Bangka Selatan, Sumatra*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- McLemore, V. T., 2012. Rare Earth Elements Deposits in New Mexico. Proceeding of the 48th Annual Forum in the Geology of Industrial Minerals. Arizona. p.1-16.
- Nasirian, M., Bahari, I. and Abdullah, P. 2008. Assessment of Natural Radioactivity in Water and Sediment from Amang (Tin Tailing) Processing Ponds. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences* Vol. 12 (1). p. 150-159.
- Sujitno, Sutedjo (2015a) *Sejarah Penambangan Timah Indonesia*. Terbitan 2. Penerbit PT Bina Prestasi Insani, Jakarta.
- Sujitno, Sutedjo (2015b) *Timah Indonesia Sepanjang Sejarah*. Terbitan 3. Penerbit PT Bina Prestasi Insani, Jakarta.
- Susiati, H., Mellawati, J., Yarianto, S.B.S dan Febriyadi. 2011. Studi Rona Awal Lingkungan pada Tahap Pra-Survey Tapak d Dua Daerah Interes untuk PLTN di Pulau Bangka. *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Energi Nuklir IV*. Pusat Pengembangan Energi Nuklir BATAN. hal 163-175.
- USGS, 2017. Mineral Commodity Summaries 2017. U.S. Geological Survey. p. 172-173. Virginia.
- Van Bemmelen, R.W. 1970. *The Geology of Indonesia*. General Geology Volume I A. Martinus Nijhoff, The Hague, Netherland.
- Wahyudi, B. (2003) *Studi Tingkat Radioaktivitas Lingkungan dan Epidemiologi Lingkungan pada Area Pertambangan Timah Pulau Bangka Propinsi Kepulauan Bangka Belitung*. *Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan pada Industri Non Nuklir*. hal 61-73. Jakarta.
- Szamalek, K., Konopka, G., Zglinicki, K. and Maliszewska, M. 2013. New Potential Source of Rare Earth Elements. *Versita Journal*, Volume 29 (4). p. 59-76.