

PROSPEK TORIUM SEBAGAI BAHAN BAKAR NUKLIR MASA DEPAN DI INDONESIA: KAJIAN ASPEK GEOLOGI

Ngadenin^{*)}, Heri Syaeful^{*)}, I Gde Sukadana^{*)}, Fd. Dian Indrastomo^{*)}

^{*)} Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional

Jalan Lebak Bulus Raya No.9 Jakarta 12440

Email : ngadenin@batan.go.id

ABSTRAK

PROSPEK TORIUM SEBAGAI BAHAN BAKAR NUKLIR MASA DEPAN DI INDONESIA: KAJIAN ASPEK GEOLOGI. Uranium adalah bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) pada saat ini dan torium berpotensi menjadi bahan bakar nuklir masa depan. Pemanfaatan torium sebagai bahan bakar nuklir diperkirakan akan dilaksanakan setelah 2020. Saat ini penelitian dan pengembangan pembangkit listrik tenaga nuklir berbasis torium skala pilot sedang dilaksanakan di beberapa negara Eropa, Amerika dan Asia. Torium merupakan unsur yang terdapat dalam beberapa mineral ikutan pada beberapa cebakan mineral seperti cebakan timah, bauksit dan logam tanah jarang. Mineral ikutan pada cebakan mineral tersebut umumnya adalah monasit. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran secara umum tentang prospek torium di Indonesia, terutama untuk pengembangan bahan bakar nuklir di masa depan karena di Indonesia terdapat banyak tambang timah dan bauksit, selain itu juga terdapat cebakan logam tanah jarang. Hasil survei pendahuluan di beberapa wilayah di Indonesia memperlihatkan bahwa keterdapatan monasit pada tambang timah primer adalah 5,07%, tambang timah sekunder adalah 7,57 %, tambang bauksit adalah 1,8 % (kadar torium 4.210 ppm), sedangkan kadar torium pada cebakan logam tanah jarang adalah 86,9 ppm – 11,10%. Pelamparan cebakan timah, bauksit dan cebakan logam tanah jarang cukup luas. Cebakan timah terdapat di sepanjang zona granit jalur timah dari kepulauan Riau hingga Bangka Belitung. Cebakan bauksit terdapat di zona granit jalur timah Kepulauan Riau dan zona jalur granit Kalimantan Barat. Cebakan logam tanah jarang terdapat di Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat. Data keterdapatan monasit atau torium pada beberapa tambang atau cebakan mineral di Indonesia serta luas pelamparannya mengindikasikan bahwa prospek torium di Indonesia dianggap cukup bagus.

Kata kunci: torium, monasit, timah, bauksit, logam tanah jarang

ABSTRACT

THE PROSPECT OF THORIUM AS THE FUTURE NUCLEAR FUEL IN INDONESIA: GEOLOGICAL ASPECT STUDY. Uranium is a fuel for nuclear power plants at this time and thorium has the potential to become a future nuclear fuel. Utilization of thorium as a nuclear fuel is expected to take place after 2020. Currently research and development of pilot scale thorium-based nuclear power plants is being carried out in several European, American and Asian countries. Thorium is an element found in some of the accessories minerals in several mineral deposits such as tin, bauxite and rare earth elements deposits. Minerals accessories in the mineral deposits are generally monazite. This study aims to provide a general description of the prospect of thorium in Indonesia, especially for the development of nuclear fuel in the future because in Indonesia there are many tin and bauxite mines, besides that there are also rare earth elements deposits. Result of the preliminary survey in several regions in Indonesia showed that monazite availability in primary tin mines was 5.07%, secondary tin mines were 7.57%, bauxite mines were 1.8% (thorium contents 4,210 ppm), and thorium content in rare earth elements deposits is 86.9 ppm to 11.10%. The overlay of tin and bauxite and rare earth elements deposits is quite extensive. Tin deposits are located along the zone of granite tin belt from the Riau to Bangka Belitung archipelago. The bauxite deposits is located in the zone of granite tin belt in Riau Islands and West Kalimantan. Rare earth elements deposits located in the area of Mamuju Regency, West Sulawesi. Data occurrences of the monazite or thorium in some mines or mineral deposits in Indonesia and the extent of their dispersion indicate that the prospect of thorium in Indonesia is considered to be quite good.

Keywords: thorium, monazite, lead, bauxite, rare earth metals

PENDAHULUAN

Status PLTN berbasis Torium di Dunia saat ini

Torium adalah unsur kimia logam dengan radioaktif lemah mempunyai simbol Th, nomor atom 90 dan berat atom 232. Torium ditemukan pada tahun 1829 oleh ahli mineral Norwegia bernama Morten Thrane Esmark. Penamaan torium dilakukan oleh kimiawan Swedia Jons Jacob Berzelius. Torium diambil dari kata Thor yaitu dewa petir. Torium memiliki waktu paruh 14,05 miliar tahun, ia meluruh sangat lambat melalui peluruhan alfa, memulai rantai peluruhan seri torium yang berakhir pada 208Pb stabil. Torium ditemukan dalam jumlah kecil di sebagian besar batuan, sekitar tiga kali lebih banyak daripada uranium. Saat ini torium digunakan untuk refraktori, lampu, dan paduan aerospace. Di Indonesia saat ini torium digunakan sebagai bahan untuk pembuatan kaos lampu petromaks. Pemanfaatan torium sebagai bahan bakar nuklir di dunia diperkirakan akan dilaksanakan setelah tahun 2020. Tenaga nuklir berbasis torium belum sepenuhnya dikomersialkan meskipun banyak reaktor dirancang untuk mengevaluasi penggunaan torium sebagai bahan bakar reaktor. Penelitian dan pengembangan pembangkit listrik tenaga nuklir berbasis torium skala pilot saat ini sedang dilakukan di beberapa negara seperti India, Amerika Serikat, Inggris, Kanada, Jerman, Jepang, Belanda, Norwegia, Rusia, Swedia dan Swiss [1].

Status Sumber Daya Torium Dunia Saat ini

Perkiraan sumberdaya torium global di dunia adalah sekitar 6,4 juta ton (tabel 1) [2] dari berbagai kategori. Sumberdaya tersebut berasal dari cebakan logam tanah jarang (LTJ), cebakan pasir mineral berat ilmenit, rutil, monasit dan zirkon. Sumberdaya torium terbesar yang teridentifikasi berasal dari India, Brasil, AS, Mesir, Turki, Afrika Selatan, Cina, Rusia.

Tabel 1. Perkiraan Jumlah Sumber Daya Torium di Dunia [2]

Region	Negara	Sumber Daya Torium (ton)	Region	Negara	Sumber Daya Torium (ton)
Eropa	Turki	374.000	Afrika	Mesir*	380.000
	Norwegia	87.000		Afrika Selatan	148.000
	Denmark	86.000 – 93.000		Maroko*	30.000
	Finlandia	60.000		Nigeria*	29.000
	Rusia	55.000		Madagaskar*	22.000
	Swedia	50.000		Angola*	10.000
	Perancis	1000		Mozambik	10.000
	Total Eropa	713.000 – 720.000		Malawi*	9.000
Asia	CIS *(Commonwealth of independent state tidak termasuk federasi Rusia)	1.500.000	Kenya*	8.000	
	Kazaktan	> 50.000	Kongo*	2.500	
	Asia (bagian dari Federasi Rusia)	>100.000 n	Lain-lain*	1.000	
	Uzbekistan	5.000 – 10.000	Total Afrika	649.500	
	India	846.5000	Amerika	AS	598.000
	China (termasuk China Taipei 9.000 ton)	>100.000		Brasil	632.000
	Iran*	30.000		Venezuela*	300.000
	Malaysia	18.000		Kanada	172.000
	Thailand*	10.000		Peru	20.000
	Vietnam*	5.000 – 10.000		Uruguay	3.000
	Korea Selatan*	6.000		Argentina	1.300
	Srilangka*	4.000	Total	1.726.300	
	Total Asia	>2.647.500 – 2.684.500	Amerika	595.000	
Catatan : * data tahun 2013		Australia		595.000	
		Total Dunia		6.358.300 – 6.375.300	

Kelebihan Torium sebagai Bahan Bakar Nuklir dibanding Uranium [3]

Beberapa kelebihan torium dibandingkan dengan uranium sebagai sumber bahan bakar nuklir adalah sebagai berikut :

- a. Jumlah torium di permukaan bumi sekitar 4 kali lebih banyak dibanding uranium
- b. Torium mudah didapat karena secara umum merupakan produk ikutan dari komoditas tambang lain, misalnya produk ikutan dari tambang REE, titanium, timah putih.
- c. Produk limbah bahan bakar bekas dari fisi torium bukanlah jenis yang digunakan dalam persenjataan nuklir (pembangkit listrik uranium menghasilkan plutonium)
- d. Bahan bakar yang dikonsumsi torium mengandung unsur radioaktif yang lebih sedikit dan lebih kecil volume dan massanya dibanding limbah nuklir uranium konvensional.
- e. Siklus bahan bakar torium menyediakan cara yang efisien mengurangi stok plutonium yang ada dengan menggunakan plutonium untuk memulai reaksi berantai fisi torium.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran awal tentang keberadaan torium pada cebakan mineral bijih di Indonesia yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan pengembangan bahan bakar nuklir berbasis torium di masa depan.

GEOLOGI CEBAKAN TORIUM

Secara geologi torium dijumpai dalam beberapa cebakan mineral atau terdapat dalam batuan tertentu. Cebakan mineral yang mengandung torium adalah cebakan timah dan bauksit sedangkan batuan yang mengandung torium yang cukup signifikan adalah batuan karbonatit dan batuan beku alkali.

Torium pada Cebakan Timah

Torium pada cebakan plaser umumnya terdapat pada mineral monasit sebagai mineral ikutan pada konsentrat pasir timah dan konsentrat mineral berat lainnya. Cebakan plaser adalah cebakan sedimenter yang terbentuk karena sifat mineral sebagai mineral berat mempunyai berat jenis lebih besar 2,7 terakumulasi dengan pasir, lanau, lempung di lingkungan aluvial dan pantai. Secara lokal konsentrat mineral berat dapat merupakan konsentrat yang bernilai ekonomis. Cebakan model konsentrat mineral berat berukuran pasir ini adalah penopang utama untuk industri titanium yang diproduksi dari ilmenit, rutil dan leokosen (alterasi ilmenit). Cebakan tipe ini juga merupakan sumber utama dari produksi zirkon. Produk lainnya dari cebakan ini adalah silimanit/kianit, staurolit, LTJ, torium dan monasit. Monasit adalah mineral paling berat dalam kelompok mineral berat dan keberadaannya dominan pada konsentrat pasir mineral berat LTJ dan torium. Monasit terutama berasal dari proses erosi batuan beku dan metamorfosa derajat tinggi. Monasit resisten terhadap pelapukan kimia dan fisika oleh karena itu monasit dapat terendapkan di lingkungan sungai maupun pantai. Beberapa negara produksi monasit di dunia adalah Australia, Brasil, China, Indonesia, Korea, Malaysia, New Zealand, Srilangka, Thailand, Zaire dan USA. Monasit berasal terutama dari tambang endapan pasir mineral berat dari pantai. Proses pembentukan cebakan pasir mineral berat di pantai adalah batuan metamorf derajat tinggi dan batuan beku yang mengandung mineral berat ($BJ > 2,7$) mengalami pelapukan kemudian tererosi dan menghasilkan kumpulan butiran ukuran pasir, lanau, lempung dan mineral berat ke sistem *fluvial*. Aliran dan sungai membawa detrital tersebut ke arah pantai dimana mereka akan diendapkan di beberapa lingkungan sungai, delta dan pantai. Cebakan tipe plaser yang ekonomis adalah cebakan berumur Kuartar, Paleogen dan Neogen.

Torium pada Cebakan Bauksit

Di dalam endapan bauksit unsur radioaktif torium terbentuk dari hasil pelapukan batuan kaya alkali feldspar yang telah mengalami proses metasomatisme. Di dalam endapan laterit bauksit unsur torium terbawa oleh mineral-mineral sekunder hasil laterisasi seperti hematit dan buhmit. Unsur torium yang ada dalam bauksit dapat juga berasal dari

logam tanah jarang ringan, basnasit, zirkon atau anatas tetapi dalam ukuran sangat kecil dan hanya dapat didekdeksi dengan mikroskop elektron dan synchrotron spektroskopi [4]. Cebakan lateritik pada batuan karbonatit terbentuk pada batuan yang telah mengalami proses supergen. Mineral yang terbentuk pada endapan laterit adalah plubogomit, rhabdophan dan monasit sekunder. Mineral –mineral tersebut terbentuk pada zona bagian atas laterit atau pada zona pelapukan. Mineral lain yang terbentuk adalah gutit dan hematit serta dalam jumlah sedikit terbentuk mineral kalsit, kriptomelan, dolomit, holandit, kaolin, maghemit, piroklor, ilmenit, rutil, kuarsa, barit, anatas dan vermikulit.

Torium pada Batuan Karbonatit

Batuan karbonatit adalah batuan beku yang mengandung lebih dari 50% mineral karbonat primer seperti kalsit, dolomit dan ankerit, terbentuk oleh proses magmatik atau metasomatik. Pada batuan karbonatit unsur torium dijumpai bersama dengan logam tanah jarang (LTJ). Mineral bijih primer yang terbentuk pada saat kristalisasi magma adalah basnasit (REEs)CO₃F dan parisit (G(REEs)₂(CO₃)₃ F₂), sedangkan mineral yang terbentuk oleh proses sekunder seperti proses hidrotermal dan metasomatisme adalah monasit sekunder. Secara genetik karbonatit terbentuk berasosiasi atau dekat dengan batuan beku alkali [5]. Salah satu tambang LTJ dan torium yang besar di dunia antara lain terdapat di Mountain Pass di Kalifornia, USA. Bijih LTJ pada tambang Mountain Pass terdapat pada terobosan batuan karbonatit masif yang disebut *The Sulfide Queen Carbonatite*. Cadangan di tambang Mountain Pass sebanyak 16,7 juta ton dengan kadar rata-rata LTJ oksida adalah 7,98 % dan kadar torium 0,025%.

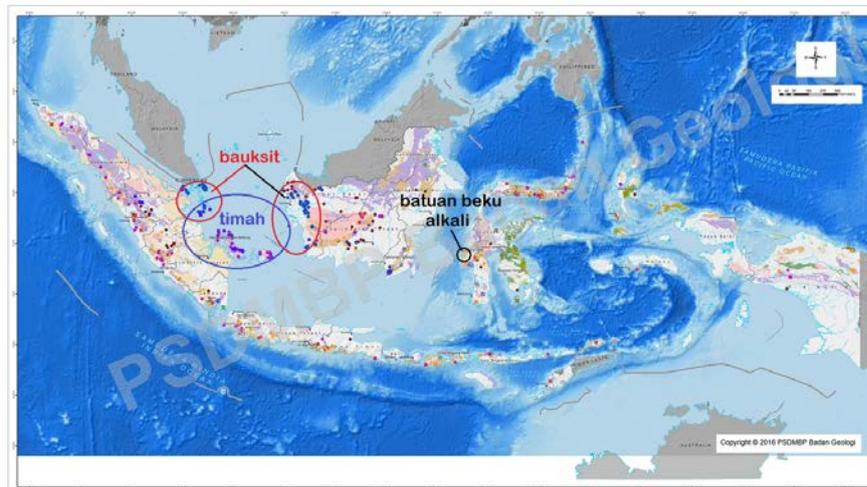
Torium pada Batuan Beku Alkali

Batuan beku alkali adalah batuan beku yang mengandung silika (SiO₂) lebih sedikit dibanding logam alkali (Na₂O + K₂O). Batuan beku alkali terbentuk dari kristalisasi magma silikat dan larutan yang kaya unsur alkali, membentuk mineral-mineral yang mengandung natrium dan kalium, seperti piroksin atau amfibol yang kaya sodium atau potassium. Torium dan LTJ memiliki hubungan genetik yang sangat kuat dengan proses-proses pembentukan batuan beku alkali. Batu beku alkali biasanya memiliki pengayaan LTJ yang lebih tinggi dibanding batuan beku lainnya. Sumber LTJ dan torium yang sangat potensial terdapat pada terobosan batuan beku alkali dan peralkalin. Beberapa contoh cebakan yang terkenal adalah cebakan Nechalacho di danau Thor, Kanada. Cebakan LTJ terdapat pada mineral fergusonit, alanit, basnasit, zirkon dan monasit [6]. Contoh lain adalah terdapat pada kompleks batuan beku alkali *Llímussaq* di *Greenland* Selatan. Di daerah ini sedang dilakukan evaluasi sumber daya LTJ, Zn dan uranium. Batuan induk untuk deposit LTJ, Zn, U dan Th adalah syenit nefelin yang merepresentasikan sebagai batuan beku peralkalin. Torium dapat juga terbentuk pada cebakan mineral tipe urat yang terbentuk di zona rekahan, sesar, breksi pada batuan metasedimen dan metavulkanik dan sering berhubungan dengan kompleks batuan alkali dan karbonatit. Mineral utama cebakan pada ini adalah thorit, thorigummit, dan monasit yang berhubungan dengan beberapa mineral logam tanah jarang (LTJ) seperti alanit, basnasit dan xenotim. Contoh dari cebakan mineral tipe urat yang mengandung torium antara lain adalah cebakan yang terdapat daerah Lemhi Pass di Amerika Serikat dan Nolans Bore di Australia. Cebakan di Distrik Lemhi Pass adalah urat-urat mengandung mineral thorit sebagai batuan induk untuk torium [7]. Pada cebakan ini terdapat 219 urat kaya torium dan LTJ. Salah satu contoh urat adalah urat kuarsa-hematit-thorit mengisi zona rekahan dan breksiasi pada zona kuarsit dan siltit Mesoproterozoik. Torium juga terbentuk di urat monasit-thorit-apatit dan urat spekularit, biotit dan alkali feldspar. Setempat-setempat terdapat beberapa urat mengandung mineral karbonat, seperti kalsit, siderite dan ankerit dan flourit. Pada cebakan LTJ tipe urat mengandung torium dijumpai alanit dan monasit yang melimpah. Mineral lainnya adalah brokit dan xenotim. Mineral pengotornya adalah kuarsa, hematit, limonit, fluorapatit, potashium feldspar, bioitit, albit dan barit. Kadar LTJ oksida 0,428%, torium 0,43%. Cebakan Nolans Bore di Australia terdiri dari beberapa tipe urat dan zona breksiasi yang terisi fluorapatit yang berasosiasi dengan mineralisasi LTJ dan torium [8]. Cebakan tipe urat ini adalah cebakan yang terbentuk oleh proses hidrotermal yang terbentuk dalam beberapa fase pada zona sesar yang dekat atau berhubungan dengan kompleks batuan beku alkali dan timah serta pegmatit yang kaya tantalum. Mineral primernya adalah cheralit, thorit, alanit, basnasit, monasit dan LTJ mengandung fluorcarbonat.

HASIL PENELITIAN

Keterdapatan Torium Di Indonesia

Di Indonesia torium dapat ditemukan pada beberapa cebakan mineral dan batuan tertentu. Cebakan mineral yang mengandung thorium adalah cebakan timah dan bauksit sedangkan batuan tertentu yang mengandung thorium signifikan adalah batuan beku alkali dan batuan metamorfosa (Gambar 1).



Gambar 1. Peta keterdapatan torium pada beberapa cebakan mineral dan batuan di Indonesia (dimodifikasi dari peta sebaran mineral strategis di kabupaten/kota Indonesia [9])

Torium pada Cebakan Timah Primer

Cebakan timah primer di Indonesia terdapat di sepanjang zona granit jalur timah dari kepulauan Riau hingga Bangka Belitung. Cebakan tipe ini dijumpai pada daerah kontak antara batuan granit berumur Yura yang menerobos batuan malihan berumur Trias dan Permo Karbon. Cebakan timah primer umumnya berbentuk urat-urat kasiterit dengan tebal sentimetrik hingga metrik. Mineral utamanya adalah kasiterit sedangkan torium terdapat pada mineral monasit sebagai mineral ikutan. Gambar 2a dan 2b merupakan contoh cebakan timah primer yang terdapat di daerah Toboali, kabupaten Bangka Selatan. Pada gambar tersebut terlihat urat-urat kasiterit terdapat pada batuan granit Toboali berumur Yura yang menerobos batuan meta batupasir dari Formasi Tanjunggending yang berumur Trias. Hasil analisis petrografi, mineragrafi dan autoradiografi dari tiga sampel sayatan tipis dan sayatan poles batuan granit memperlihatkan bahwa keterdapatan monasit pada granit adalah berkisar antara 0,01 hingga 0,02 %. Hasil analisis mineral butir dari sampel konsentrat dulang pada cebakan timah (kasiterit) primer sebanyak 12 buah menunjukkan keterdapatan monasit rata-rata adalah 5,07 % berat dari sampel seberat 5 gram (Tabel 2) [10].

Tabel 2. Hasil Analisis Mineral Butir i Konsentrat Dulang Cebakan Timah Primer dari Daerah Toboali Bangka Selatan [10]

No. Sampel	% Berat														
	Kasiterit	Monasit	Zirkon	Magnetit	Ilmenit	Hematit	Rutil	Hornblenda	Anatas	Fluorit	Biotit	Turmalin	Kalkopirit	Garnet	Kuarsa
MB.1	-	2.66	24.62	0.54	34.18	17.54	0.48	9.43	0.58	-	0.52	-	-	-	9.46
MB.2	1.39	2.97	23.65	0.06	22.39	42.21	0.39	4.97	0.69	-	-	-	-	-	1.30
MB.3	2.05	5.14	38.23	0.41	20.70	18.03	1.25	5.15	0.86	-	-	0.46	0.38	-	7.34
MB.4	2.01	1.98	34.12	0.21	47.30	4.40	0.90	4.37	0.59	0.19	-	-	-	-	3.93
MB.5	13.62	13.76	15.09	0.30	22.20	28.27	1.02	3.19	0.51	-	-	-	-	0.41	1.62
MB.6	7.66	6.18	58.2	0.54	10.9	3.13	3.55	5.31	0	0.33	0	0	0	0	4.2
MB.7	4.11	6.06	44.84	0.45	17.7	19.95	0.59	2.06	0.55	0.31	0	0	0	0.52	2.86
MB.8	4.58	6.47	50.9	0.42	14.18	13.87	0.92	5.31	1.14	0	0.32	0	0	0.35	1.54
MB.9	14.53	4.02	50.92	0.21	15.47	2.19	2.75	5.29	0.61	0	0.37	0.59	0	0	3.05
MB.10	34.38	9.29	3.05	0.52	0.74	1.16	0	49	0.51	0	0	0	0	0	1.35
MB.11	11.87	1.95	1.07	0.44	2.94	6.97	0.36	61.06	0	0	0	0	0	0	13.34
MB.12	95.02	0.33	0.24	0.3	0.26	1.92	0	0.05	0	0	0	0	0	0	1.88
Rata-rata	17.38	5.07	28.74	0.37	17.41	13.30	1.22	12.93	0.67	0.28	0.40	0.53	0.38	0.43	4.32

Torium yang terdapat pada cebakan timah primer di Bangka selatan diperkirakan juga dapat ditemukan pada cebakan timah primer di daerah Pemali Kabupaten Bangka Induk [11], cebakan timah primer di daerah Tempilang Kabupaten Bangka Barat [12] dan cebakan timah primer di daerah Tanjung Gunung dan Batu Belubang Kabupaten Bangka

Tengah [13] karena cebakan timah primer di daerah Pemali, Tempilang, Tanjung Gunung dan Batu Belubang secara tektonik regional merupakan satu rangkaian dari granit jalur timah Asia Tenggara yang kaya timah dan monasit.



Gambar 2a. Cebakan timah primer di Bangka Selatan [10]



Gambar 2b. Urat-urat kasiterit pada batuan granit [10]

Torium pada Cebakan Timah Sekunder

Cebakan timah sekunder di Indonesia terdapat di sepanjang zona granit jalur timah dari kepulauan Riau hingga Bangka Belitung. Cebakan tipe ini dijumpai pada endapan alluvial sungai dan atau pantai. Cebakan timah sekunder umumnya berbentuk konsentrat-konsentrat mineral berat berukuran pasir yang terkonsentrasi pada endapan sungai dan pantai. Mineral utama cebakan timah sekunder adalah kasiterit sedangkan torium terdapat pada mineral monasit sebagai mineral ikutannya.

Gambar 3a dan 3b merupakan contoh cebakan timah sekunder yang terdapat di daerah Bencah, kabupaten Bangka Selatan. Pada gambar tersebut terlihat endapan aluvial hasil pengendapan *meander* sungai yang dicirikan oleh struktur sedimen *cross bedding*. Hasil analisis mineral butir dari sampel konsentrat dulang sebanyak 7 buah menunjukkan keterdapatan monasit rata-rata adalah 9,60 % berat dari sampel seberat 5 gram (Tabel 3) [10]. Keterdapatan monasit pada cebakan timah sekunder seperti yang dijumpai di daerah Bencah, Bangka Selatan ternyata juga ditemukan di daerah Cerucuk Belitung [14] dan daerah Tumbang Rusa Belitung [15].



Gambar 3a. Cebakan timah sekunder di daerah Bencah Bangka Selatan [10]



Gambar 3.b. Struktur sedimen *cross bedding* pada cebakan timah sekunder di daerah Bencah, Bangka Selatan [10]

Tabel 3. Hasil analisis mineral butir konsentrat dulang cebakan timah sekunder dari daerah Bencah Bangka Selatan [10].

No	Kode sampel	Kasiterit (%)	Monasit (%)	Zirkon (%)	Magnetit (%)	Ilmenit (%)	Hematit (%)	Rutil (%)	Anatas (%)	Turmalin (%)	Fluorit (%)	Garnet (%)	Pirhotit (%)
1	MB4	5.83	4.96	23.38	1.67	58.49	3.09	1.1	0.75	0	0.38	0.35	0
2	MB5A	6.24	7.76	10.41	0.26	73.74	0.78	0.21	0.08	0	0	0.28	0.24
3	MB10	12.27	11.94	48.34	0.34	18.18	5.54	0.3	0.85	1.5	0.37	0.37	0
4	MB14	13.86	10.86	4.76	0.68	39.61	25.94	1.07	0.52	1.84	0.33	0.53	0
5	MB18	3.63	8.04	16.9	0.34	69.26	0.28	0.34	0.25	0	0	0.28	0.68
6	MB22	5.89	6.37	48.04	0	30.01	4.98	0.78	0.66	2.42	0.57	0.28	0
7	MB23	1.34	3.35	12.88	0.12	73.16	7.41	0.08	0.7	0.82	0.14	0	0
8	MB31B	4.39	7.29	8.76	16.41	12.68	4.72	0.67	1.23	42.86	0.99	0	0
Jumlah		53.45	60.57	173.47	19.82	375.13	52.74	4.55	5.04	49.44	2.78	2.09	0.92
Rata-rata		6.68	7.57	21.68	2.83	46.89	6.59	0.57	0.63	7.06	0.35	0.35	0.31

Torium pada Cebakan Bauksit

Cebakan laterit bauksit di Indonesia terdapat di sekitar wilayah batuan granit berumur Trias – Kapur yang telah mengalami pelapukan lanjut yang tersebar di kepulauan Riau dan Kalimantan Barat (Gambar 1). Torium umumnya terdapat di dalam mineral monasit, xenotim, zirkon dan anatas. Pada cebakan laterit bauksit mineral monasit, xenotim, zirkon dan anatas terdapat pada zona bagian atas laterit atau pada zona pelapukan. Keterdapatannya torium pada cebakan laterit bauksit ditemukan di pulau Singkep dan Ketapang, Kalimantan Barat.

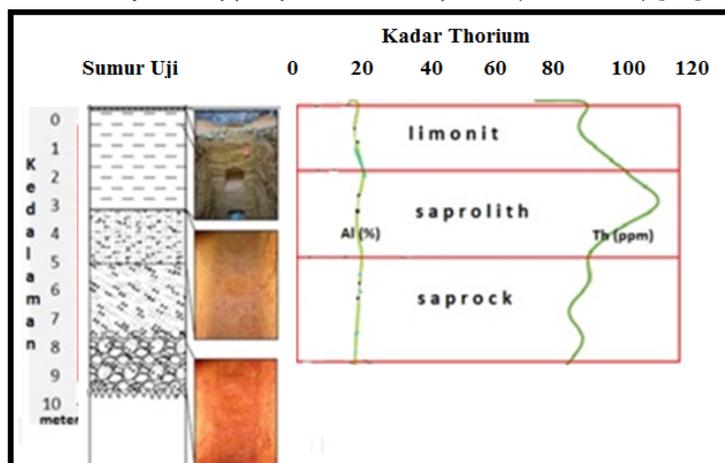
Di pulau singkep laterit bauksit merupakan pelapukan dari granit Muncung yang berumur Trias (Gambar 4). Granit berwarna abu abu kemerahan, holokristalin alotriomorfik granular ukuran mineral 0,06 – 2 mm. Komposisi mineral terdiri dari alkali felspar 45 %, kuarsa 25 %, plagioklas 22 %, biotit 5 %, monasit 1 %, epidot 0,5 %, mineral opak 0,5 %, zirkon 0,5%, apatit 0,5 %. Plagioklas berupa oligoklas, sebagian telah berubah menjadi serisit dan mineral lempung. Alkali felspar berupa ortoklas dan mikroklin, sebagian telah berubah menjadi serisit dan mineral lempung. Kuarsa sebagian tumbuh bersama ortoklas membentuk tekstur grafik. Biotit sebagian telah berubah menjadi muskovit, serisit, dan oksida besi. Kadar torium dari 14 sampel konsentrat dulang yang diambil dari endapan laterit bauksit di pulau Singkep berkisar antara 557 – 13.200 ppm Th dengan kadar rata-rata adalah 4.210 ppm [16].



Gambar 4. Endapan laterit bauksit di pulau Singkep [16]

Di daerah Ketapang Kalimantan Barat, unsur torium ditemukan dalam endapan laterit bauksit hasil pelapukan batuan basalt berumur Kapur Akhir – Paleosen. Hasil pengukuran kadar torium yang dilakukan pada sumur uji endapan laterit bauksit di daerah Ketapang, Kalimantan Barat menunjukkan bahwa pengayaan Torium terjadi pada endapan saprolith dibandingkan pada limonit dan saprock. Batuan basalt dalam kondisi sangat lapuk. Warna abu-abu kecoklatan hingga coklat kemerahan, tekstur afanitik, komposisi mineral terdiri atas plagioklas, hornblende dan olivin. Kadar torium pada sumur uji pada kedalaman 0 meter hingga 10 meter adalah berkisar dari 75 ppm hingga 115 ppm dengan kadar rata-rata 91,1 ppm sedangkan kadar aluminium berkisar dari 18 % sampai dengan 20 %. Tidak ada korelasi antara unsur torium dan unsur aluminium. Pengayaan unsur torium terjadi pada zona saprolith yaitu di permukaan mempunyai kadar 75 ppm kemudian pada zona limonit

meningkat menjadi 90 ppm dan puncaknya pada zona saprolith meningkat menjadi 115 ppm selanjutnya menurun menjadi 80 ppm pada zona saprock (Gambar 5) [17].



Gambar 5. Penampang sumur uji pada endapan laterit bauksit di Ketapang, Kalimantan Barat [17]

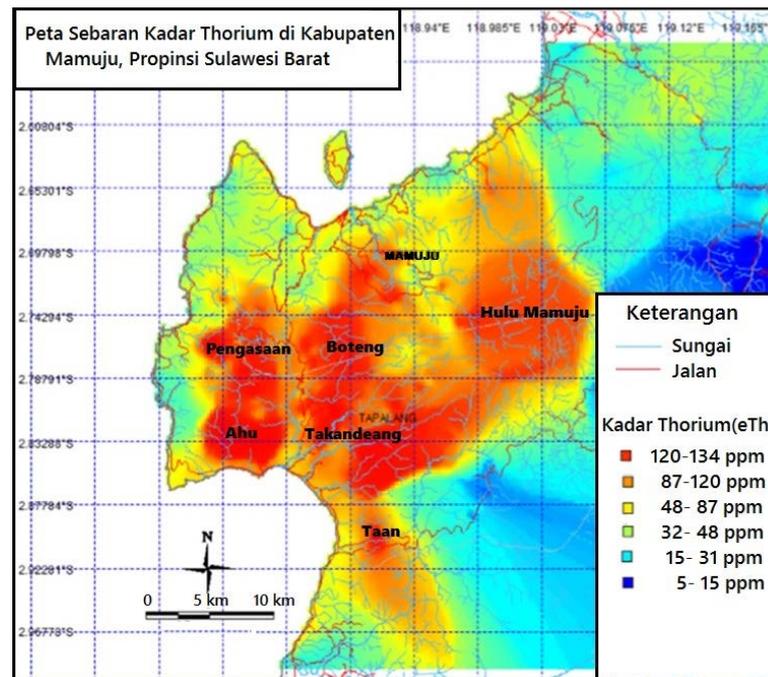
Torium pada Batuan Beku Alkali

Torium pada batuan beku alkali ditemukan di daerah Mamuju, Sulawesi Barat. Cebakannya berbentuk urat-urat dengan tebal milimetrik sampai dengan desimetrik (Gambar 6) Mineral radioaktif pada cebakan urat tersebut adalah thorianit (ThO_2). [18], atau thorit ThSiO_2 [19]. Mineralisasi dikontrol oleh system frakturasi berarah umum tenggara – barat laut yang diperkirakan terbentuk bersamaan dengan proses mineralisasi uranium dan torium [20]. Kadar torium urat-urat bijih thorit yang diambil di hulu sungai Mamuju berdasarkan hasil analisis menggunakan alat XRF adalah berkisar antara 751 ppm sampai dengan 11,10 %.



Gambar 6. Singkapan Urat-urat Thorit di Hulu Sungai Mamuju, Sulawesi Barat) [18,19]

Selain berbentuk urat, keterdapatan torium di batuan beku alkali juga terdapat pada batuan gunungapi Adang yang berumur Miosen Akhir [21]. Hasil analisis petrografi beberapa sampel batuan gunungapi Adang menunjukkan bahwa batuan penyusun kompleks gunungapi di daerah Mamuju sangat bervariasi secara umum terdiri dari batuan beku alkali yang didominasi oleh tephrite, tephriponolite, phonotephrite, dan phonolite. Kadar torium batuan beku alkali ini berdasarkan hasil pengukuran secara kontinu menggunakan spektrometer sinar gamma RS 125 adalah berkisar antara 5 – 134 ppm eTh (Gambar 7), sedangkan hasil analisis kadar torium menggunakan alat XRF terhadap 10 sampel batuan menunjukkan kadar torium berkisar antara 86,9 ppm sampai dengan 1100 ppm [22].



Gambar 7. Peta Sebaran Kadar Torium daerah Mamuju, Sulawesi Barat [22]

PEMBAHASAN

Pada cebakan timah, baik cebakan timah primer maupun sekunder, unsur torium terdapat dalam mineral monasit yang merupakan mineral ikutan dari tambang timah. Secara geologis cebakan timah primer dan sekunder di Indonesia dikontrol oleh zona granit jalur timah yang membentang dari kepulauan Riau hingga Bangka Belitung. Keterdapatan monasit pada konsentrat dulang seberat 5 gram yang diambil dari cebakan timah primer adalah sekitar 5,07% berat, sedangkan pada cebakan timah sekunder adalah 7,57 % berat [10]. Dengan pelamparan yang sangat luas yang membentang dari kepulauan Riau hingga Bangka Belitung maka potensi torium atau monasit yang terdapat pada cebakan timah primer dan sekunder dianggap sangat potensial walaupun cadangan monasit hingga saat ini belum diketahui dengan pasti. Cadangan timah tahun 2016 adalah sebesar 335.909 ton [23]. Data tahun 2016 dari Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panasbumi Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral menunjukkan bahwa sumber daya monasit di Indonesia tahun 2016 adalah 7.014.687.516 ton bijih atau setara dengan 191.914 ton metal [24]. Status teknologi proses pengolahan monasit saat ini adalah BATAN telah mampu mengolah monasit menjadi REOH₃ yang terpisah dengan uranium dan thorium dalam skala pilot [25].

Pada tambang bauksit, torium juga terdapat dalam mineral monasit sebagai mineral ikutan tambang bauksit. Keterdapatan monasit dari konsentrat dulang seberat 5 gram yang diambil pada tambang bauksit adalah sekitar 1,8 % berat dengan kadar thorium 4.210 ppm. Potensi monasit di dalam tambang bauksit diperkirakan cukup potensial karena pelamparan tambang bauksit sangat luas yaitu terdapat di sekitar Riau kepulauan dan Kalimantan Barat. Jumlah sumber daya bauksit di Indonesia adalah 3.787.345.741 ton bijih atau setara dengan 1.819.410.243 ton metal [24] Keterdapatan monasit di tambang timah dan bauksit belum dikelola secara maksimal. Saat ini monasit masih dianggap sebagai tailing tambang. Untuk persiapan penggunaan torium sebagai bahan bakar masa depan diperlukan koordinasi para pemangku kepentingan.

Pada batuan beku alkali thorium terdapat di dalam dua tipe yaitu pada urat-urat mineral thorit dan tersebar merata dalam batuan. Kadar torium pada urat-urat thorit adalah berkisar antara 751 ppm sampai dengan 11,10% sedangkan kadar torium pada batuan beku alkali adalah berkisar dari 86,9 hingga 1100 ppm. Diperkirakan cebakan mineral utama pada batuan beku alkali adalah cebakan logam tanah jarang. Batuan beku alkali terdapat di Kabupaten Mamuju, Propinsi Sulawesi Barat dengan luas pelamparan batuan adalah sekitar 80.000 ha. Dengan pelamparan batuan yang cukup luas dan kadar torium ada yang mencapai 11,10 % maka keterdapatan torium pada batuan beku alkali di Kabupaten Mamuju

diperkirakan mempunyai prospek yang cukup menjanjikan. Jumlah cadangan torium belum diketahui secara pasti hingga saat ini oleh karena itu perlu tindak lanjut pengembangan kearah perhitungan cadangan dalam dekade lima tahun ke depan. Status teknologi proses saat ini yang telah dilakukan adalah pemisahan torium dan logam tanah jarang dari bijih urat-urat thorit pada skala laboratorium [19].

KESIMPULAN

Berdasarkan data keterdapatan torium atau monasit serta luas penyebarannya yang terdapat pada tambang timah, tambang bauksit dan batuan beku alkali di Indonesia maka dapat disimpulkan bahwa torium di Indonesia mempunyai prospek yang bagus sebagai bahan bakar nuklir masa depan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan yang sangat baik ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Bapak Ir, Yarianto Sugeng Budi Susilo, MSi selaku kepala Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. NEA-IAEA,. Nuclear Energy Agency (NEA) Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and International Atomic Energy Agency (IAEA), "Introduction of Torium in the nuclear Fuel Cycle Short to Longterm Consideration" NEA No.7224,136p, Vienna (2015)
2. NEA-IAEA, Nuclear Energy Agency (NEA) Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and International Atomic Energy Agency (IAEA), "Uranium Resources, Production and Demand" OECD Report No.7209,504p. Vienna (2014)
3. BRADLEY S. VAN GOSEN AND HARIKRISHNAN TULSIDAS, "*Uranium for Nuclear Power*" Resources, Mining and Transformation to Fuel, Chapter 10. Torium for Nuclear Power" Pages 253–296, Elsevier, (2016).
4. GAMALETSOS PLATON, GODELITSAS ATHANASIO, KASAMA TAKESHI, KUZMIN ALEXEI, STEININGER RALPH, PONTIKES YIANNIS, GOTTLICHER JORG, " The Nature of Torium in Bauxite and Bauxite Residue from Greece" DTU's Sustain Conference (2015)
5. VERPLANCK,P.L., VAN GOSEN, B.S., SEAL,R.R., Mc.CAFFERTY,A.E., "*A Deposit Model for Carbonatite and Peralkaline Intrusion related Rare Earth Element Deposits*", U.S. Geological Survey Scientific Investigation Report 2010-5070-J,58p, (2014).
6. SHEARD, E.R., WILLIAMS JONES,A.E., HEILIGMANN,N., PEDERSON,C., TRUEMAN,D.L., "Controls on the Concentration of Zirconium, Niobium and Rare Earth Elements in the Thor Lake rare Metal Deposit, Northwest territories,Canada"Geol.107,81-104, (2012).
7. VAN GOSEN, B.S., GILLERMAN,V.S.,ARMBRUSTMACHER,T.J.,"Torium Deposits of the United States – Energy Resources for the Future?", US Geol. Surv. Circ.1336,21, (2009).
8. HOATSON D.M., JAIRETS S., MIEZITIS Y., " The Major Rare Earth Elements Deposits of Australia : Geological Setting, Exploration and Resources" Geoscience Australia, 204 p., (2011)..
9. Pusat Sumberdaya Mineral, Batubara dan Panas Bumi - Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral", Peta Sebaran Mineral Strategis di Kabupaten/Kota di Indonesia, Bandung, (2016).
10. NGADENIN, "Sebaran Monasit pada Granit dan Aluvial di Bangka Selatan"Jurnal Pusat Pengembangan Energi Nuklir Vol.13, No.2, Desember, (2011).
11. MANINJI, LAMECK "Geologi, Model Endapan, Mineralisasi Timah Primer, Pemali Tambang Timah ; Geology, Deposit Model, Primary Tin Mineralization, Pemali Tin Mine" Thesis S2 Teknik Geologi UGM,Yogyakarta, (2015).

12. MIFTAH MUKIFIN ALI "Geologi, Alterasi, Dan Mineralisasi Timah Primer Blok Lembah Jambu, Kecamatan Tempilang, Kabupaten Bangka Barat, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung" Thesis S2 Teknik Geologi UPN, Yogyakarta, (2017)
13. FRISKA PUTRI AYUNDA "Studi Geologi, Alterasi, Dan Mineralisasi Timah Primer Di Desa Tanjung Gunung Dan Batu Belubang, Kecamatan Pangkalan Baru, Kabupaten Bangka Tengah, Provinsi Bangka-Belitung", Skripsi S1 Teknik Geologi UGM, Yogyakarta, (2017)
14. BAMBANG SOETOPO, LILIK SUBIANTORO, PRIYO SULARTO, DWI HARYANTO "Studi Deposit Monasit dan Zirkon Dalam Batuan Kuarter Di Daerah Cerucuk Belitung" *Eksplorium* Volume 33 No. 1, Mei 2012: 25 – 40
15. BAMBANG S., LILIK S., NGADENIN, NUNIK M., " Studi Prospek Monasit Di Daerah Tumbang Rusa, Tanjung Pandan, Belitung, Propinsi Bangka Belitung" *Eksplorium* Volume XXXII No. 155, Mei 2011 : 29 – 46
16. NGADENIN, KURNIA S.W, ADHIKA J.K, "Studi Keterdapatan Torium Pada Endapan Laterit Bauksit di Pulau Singkep dalam rangka Pengembangan Eksplorasi Torium di Wilayah Granit Jalur Timah ", *Eksplorium* Volume 39 No. 1, Mei 2018: 17–26
17. WIDODO, PUTRI RAHMAWATI, NGADENIN," Identifikasi Keterdapatan Torium Pada Endapan Laterit Bauksit Di Daerah Nanga Tayap – Sandai, Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat ", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2017, Makassar, 12 Oktober 2017, hal. 527-536
18. I GDE SUKADANA, HERI SYAEFUL, FD. DIAN INDRAMOMO, KURNIA SW, ERSINA RAKHMA "Identification of Mineralization Type and Specific Radioactive Minerals in Mamuju, West Sulawesi" *J. East China Univ. Technol.*, vol. 39, pp. 39–48, 2016.
19. MOCH IQBAL NUR SAID, MUTIA ANGGRAINI, MOHAMMAD ZAKI MUBAROK, KURNIA SETIAWAN WIDANA "Studi Ekstraksi Bijih Thorit dengan Metode Digesti Asam dan Pemisahan Torium dari Logam Tanah Jarang dengan Metode Oksidasi-Presipitasi Selektif", *Buletin Eksplorium* Vol 38, No. 2, November 2017, hal 109-120
20. FREDERIKUS DIAN INDRAMOMO, I GDE SUKADANA, SUHARJI., "Identifikasi Pola Struktur Geologi Sebagai Pengontrol Sebaran Mineral Radioaktif Berdasarkan Kelurusan pada Citra Landsat-8 di Mamuju, Sulawesi Barat" *Eksplorium* Volume 38 No. 2, November 2017: 71–80
21. N. RATMAN dan S. ATMAWINATA., "Peta Geologi Lembar Mamuju, Sulawesi Sekala 1 : 250.000" Puslitbang Geologi, Bandung,(1993)
22. I GDE SUKADANA, AGUNG HARIJOKO LUCAS DONNY SETIJADJ "Tataan Tektonika Batuan Gunung Api Di Komplek Adang, Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat" *Eksplorium* Volume 36 No. 1, Mei 2015: 31–44
23. PT. Timah Tbk. <http://www.timah.com/v3/eng/operational-review-performance-report/> diakses 6 Agustus 2018
24. Pusat Sumberdaya Mineral Batubara dan Panas Bumi Kementerian ESDM "Executive Summary Pemutakhiran Data Dan Neraca Sumber Daya Mineral Status 2016" Bandung,(2017)
25. HAFNI L.N., FAIZAL R., SUGENG W., BUDI S., ARIF S., SUSILANINGTYAS, "Pengolahan Monasit dari Limbah Penambangan Timah : Pemisahan Logam Tanah Jarang (RE) dari U dan Th", Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir V, Jakarta, (2000)