

## IDENTIFIKASI KETERDAPATAN THORIUM PADA ENDAPAN LATERIT BAUKSIT DI DAERAH NANGA TAYAP – SANDAI, KABUPATEN KETAPANG, KALIMANTAN BARAT

Widodo, Putri Rahmawati, Ngadenin  
Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir - BATAN  
Jl. Lebak Bulus raya No 9 Pasar Jumat Jakarta Selatan 12440  
email: widodoprana@batan.go.id

### ABSTRAK

Hasil survei uranium dan thorium regional di Kabupaten Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat yang dilakukan menggunakan surveymeter gamma RS 125 mendapatkan zona anomali uranium dan thorium pada endapan laterit bauksit yang menempati wilayah batuan gunungapi Kerabai, granit Sukadana dan basalt Bunga di daerah Nanga Tayap dan Sandai. Wilayah Nanga Tayap dan Sandai merupakan daerah pertambangan laterit bauksit. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui keterdapatan thorium pada endapan laterit bauksit karena penyebaran laterit bauksit di Indonesia cukup melimpah. Metode yang digunakan adalah dengan cara pembuatan sumur uji pada wilayah batuan gunungapi Kerabai, granit Sukadana dan basal Bunga, pengambilan sampel *soil*/batuan pada sumur uji dan analisis kadar unsur thorium dan aluminium. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kadar thorium tertinggi terdapat pada sumur uji di wilayah batuan basalt Bunga yaitu mencapai 115 ppm sedangkan yang terendah terdapat pada wilayah batuan gunungapi Kerabai yaitu 28 ppm. Di wilayah batuan granit Sukadana dan batuan basalt Bunga unsur thorium dan aluminium tidak berkorelasi tetapi di wilayah batuan gunungapi Kerabai berkorelasi cukup baik. Di wilayah granit Sukadana pengayaan thorium terjadi pada zona antara *limonit* dan *saprock*, sedangkan di wilayah batuan basalt Bunga terjadi pada zona *saprolith* dan di wilayah batuan gunungapi Kerabai terjadi pada zona *limonit*.

Kata kunci :Thorium, aluminium, bauksit, Ketapang, Kalimantan Barat.

### ABSTRACT

*The results of regional uranium and thorium surveys in Ketapang District, West Kalimantan Province conducted using RS 125 gamma ray detectors obtained anomalous uranium and thorium zones on bauxite laterite deposits that occupy Kerabai volcanic rock, Sukadana granite and basalt Bunga in Nanga Tayap and Sandai areas. The Sandai and Nanga Tayap areas are a bauxite laterite mining area. The purpose of this research is to know thorium availability at bauxite laterite deposit because bauxite laterite distribution in Indonesia is quite abundant. The method used is by making test pit on Kerabai volcanic rock, Sukadana granite and basalt Bunga, sampling soil / rock at test pit and analyzing thorium and aluminum element content. The results of this study concluded that the highest thorium level is found in the test pit in the basalt Bunga area reaching 115 ppm whereas the lowest is in the Kerabai volcanic rock area of 28 ppm. In the area of Sukadana granite and basalt Bunga elements of thorium and aluminum are not correlated but in the volcanic Kerabai rocks correlate quite well. In the granite area thorium enrichment occurs in the zone between limonite and saprock, whereas in the basalt Bunga occurs in the saprolith zone and in the Kerabai volcanic rock occurs in the limonite zone.*

Keywords : thorium, aluminum, bauxite, Ketapang, West Kalimantan

### PENDAHULUAN

Uranium dan thorium merupakan bahan yang bernilai strategis karena uranium merupakan bahan baku untuk pembuatan bahan bakar nuklir sedangkan thorium merupakan bahan baku untuk pembuatan bahan bakar nuklir masa depan [1,2]. Di kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat thorium terdapat dalam mineral radioaktif yaitu monasit dan zirkon. Hasil penelitian terdahulu telah mengidentifikasi bahwa daerah potensial thorium di kabupaten Ketapang menempati wilayah cekungan plaser sungai[3,4,5]. Daerah potensial thorium dicirikan oleh keterdapatan mineral monasit, *xenotim* dan zirkon pada endapan sungai. Batuan sumbernya adalah granit berumur Yura-Kapur yang mempunyai nilai radioaktivitas

500 – 9200 c/s SPP 2NF dan teridentifikasi mengandung mineral radioaktif thorit, monasit, zirkon dan alanit [3,4].

Hasil survei thorium secara regional di Kabupaten Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat yang dilakukan menggunakan alat baru yaitu detektor sinar gamma RS 125 mendapatkan zona anomali thorium pada batuan laterit bauksit pada wilayah gunungapi Kerabai, granit Sukadana dan basal Bunga di daerah Nanga Tayap dan Sandai. Kadar thorium pada batuan gunungapi Kerabai mencapai 79,8 ppm eTh, granit Sukadana mencapai 72,6 ppm eTh dan basalt Bunga mencapai mencapai 85,9 ppm eTh [5]. Zona anomali di daerah Nanga Tayap dan Sandai merupakan wilayah pertambangan laterit bauksit yang menghasilkan logam aluminium. Cebakan mineral jenis laterit secara umum cara penambangannya relatif mudah dan biaya untuk menambang cukup murah bila dibandingkan dengan cebakan mineral primer. Untuk mengetahui keterdapatan thorium pada cebakan laterit bauksit di zona thorium daerah Nanga Tayap dan Sandai maka diperlukan penelitian mengenai keterdapatan thorium yang berasosiasi dengan endapan laterit bauksit karena penyebaran laterit bauksit di Indonesia cukup melimpah. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keterdapatan thorium pada endapan laterit bauksit di daerah Nanga Tayap – Sandai, Kabupaten Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat sebagai langkah awal untuk mengetahui potensi keterdapatan thorium pada endapan laterit bauksit di Indonesia.

Lokasi penelitian secara administrasi termasuk ke dalam wilayah kecamatan Nanga Tayap dan Sandai, Kabupaten Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat (Gambar 1)



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

## DASAR TEORI PEMBENTUKAN ENDAPAN LATERIT BAUKSIT

Bijih bauksit merupakan sumber utama untuk aluminium yang terdiri atas aluminium hidroksida dan aluminium oksida. Bauksit adalah salah satu tipe laterit (batuan sedimen residu), sehingga tidak memiliki rumus kimia yang tepat. Mineral utama terdiri dari gipsit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), buhmit ( $\beta\text{-AlO(OH)}$ ), diaspora ( $\alpha\text{-AlO(OH)}$ ). Mineral lainnya adalah kaolin, gutit, hematit, rutil, kuarsa, kalsit dan dolomit. Bauksit dapat terbentuk dari beberapa batuan yaitu batuan beku asam, batuan beku basa, batugamping, batulempung dan lain-lain. Kelompok

batuan beku asam adalah salah satu kelompok batuan yang cocok untuk membentuk mineral aluminium hidrat.

Penampang laterit bauksit secara umum terbagi dalam empat zona dari bawah keatas berturut-turut sebagai berikut [6]:

a. Zona Batuan Dasar atau *Bedrock*

Batuan dasar pada umumnya didominasi oleh batuan yang mengandung aluminium seperti nefelin, syenit, andesit, dolerite, gabro, basalt, phonolite, batutanduk, sekis, batusabak, serpih dan batugamping. Kondisi batuan masih segar dan belum mengalami pelapukan serta tekstur asli batuan masih terlihat jelas.

b. Zona Pelindian (*Intermediate Horizon*)

Zona ini merupakan transisi dari batuan induk ke zona nodular di atasnya. Pada zona ini akan terjadi perubahan geokimia unsur dimana kadar SiO<sub>2</sub> akan naik dan kandungan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> akan turun. Mineral yang terdapat pada zona ini adalah mineral lempung yang mengandung unsur silika, sedikit aluminium dan besi dengan ukuran butir halus.

c. Zona Nodular

Pada zona ini hampir semua unsur yang mudah larut hilang terlindi. Kadar Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> akan naik sedang kadar SiO<sub>2</sub> akan turun. Zona *nodular* didominasi oleh mineral gipsit, selain itu juga terdapat hematit. Zona ini merupakan zona endapan bauksit laterit.

d. Zona Tanah Penutup

Zona ini didominasi oleh humus yang bersifat gembur

Bauksit di Indonesia pada umumnya terbentuk dari proses sekunder berupa pelapukan (lateritisasi) pada batuan beku yang kaya akan mineral yang mengandung aluminium (*feldspar*) seperti granit, granodiorit, diorit, gabro, dan andesit.

**Keterdapatan thorium pada bauksit**

Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu menyatakan bahwa thorium dapat terbentuk pada laterit bauksit. Di dalam endapan bauksit unsur radioaktif thorium terbentuk dari hasil pelapukan batuan kaya alkali feldspar yang telah mengalami proses metasomatisme. Dari hasil penelitian terdahulu ini juga dapat diketahui bahwasannya unsur thorium terbawa oleh mineral-mineral sekunder hasil laterisasi seperti hematit dan buhmit (Tabel. 1 dan 2) [7]. Hasil penelitian yang lain menyebutkan bahwa thorium yang ada dalam bauksit 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 [8].

**Tabel 1.** Korelasi Unsur dan Mineral dalam Bauksit.

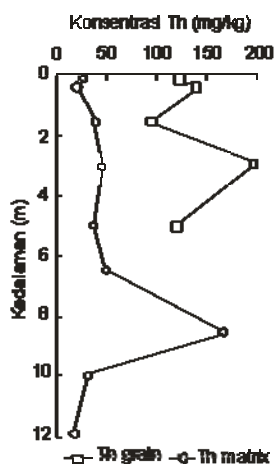
Mineral	Sr	Y	U	Th	Pb	Zr	Ni	Co	Nb
Kaolinite	-	-	-	-	-	-	+		-
Gibbsite		+				+			++
Boehmite			+	++	+	+	+ -	-	++
Hematite	-	+	+	++	+	++		+	
Goethite	+		+						

+ korelasi positif      - korelasi negatif

**Tabel 2:** Tabel batuan induk laterit bauksit dan mineral yang berasosiasi dengan unsur radioaktif

Kandungan unsur jejak endapan bauksit pada batuan induk yang berbeda				
Area	North Onega		Middle Timan	
Cebakan	Talitsk	Iksinsk	Schugorsk	
Batuan induk	peridotit serpentin	diabas metamorforse	Alkali feldspar metasomatik	
Komposisi Mineral	gibbsite, goethite	gibbsite, goethite, kaolinit	Red Boehmite, kaolinit, hematit	White boehmite
Jumlah conto	6	3	9	11
Sr, ppm	40	130	800	620
Y	25	10	150	190
U	4	3	8	13
Th	15	10	55	170
Pb	20	20	130	360
Zr	270	210	740	1230
Nb	< 50	< 50	400	790
Rb	7	8	12	< 5
Ni	1730	205	65	46
Co	200	115	17	5

Korelasi antara kadar unsur Thorium dengan zona laterisasi terlihat dari tabel diatas dimana kadar unsur Thorium mengalami pengayaan optimal pada zona saprolit dan kadarnya menurun pada batuan induk (Gambar 2). Thorium pada endapan laterit bauksit juga dapat berasal dari pelarutan mineral thorit (Th, U) SiO<sub>4</sub> yang terdapat dalam batuan granitoid seperti yang terdapat pada batuan granitoid di Australia Barat [9].



**Gambar 2.** Korelasi kadar Th terhadap zona laterisasi pada endapan laterit dengan batuan induk granitoid [9]

## METODOLOGI

### Peralatan Kerja

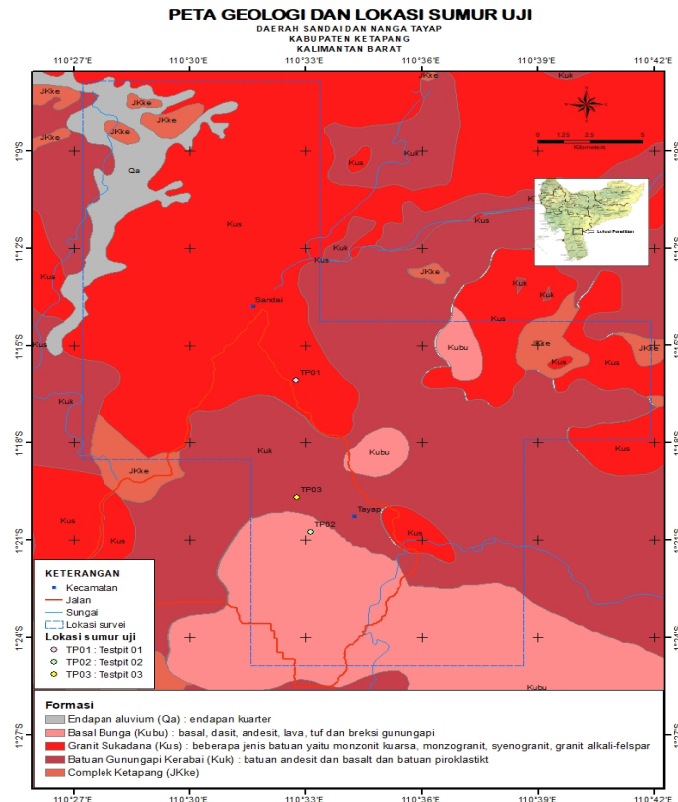
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat analisis unsur (XRF), GPS, palu geologi, kompas geologi, kaca pembesar, cangkul, sekop, linggis dan ember.

### Tata Kerja

Tata kerja yang digunakan dalam penelitian meliputi:

#### a. Pembuatan Sumur Uji

Sumur uji yang dibuat sebanyak 3 buah yaitu masing-masing satu buah pada wilayah batuan granit Sukadana, batuan basal Bunga dan batuan gunungapi Kerabai (Gambar 3). Panjang sumur uji 2 meter, lebar 0,5 meter dan kedalaman 8 meter sampai dengan 10 meter (Gambar 4). Peta yang digunakan sebagai peta dasar adalah peta geologi lembar Ketapang, Kalimantan Barat skala 1 : 250.000 [10].



Gambar 3. Peta Geologi Nanga Tayap – Sandai [9] dan Lokasi Pembuatan Sumur Uji

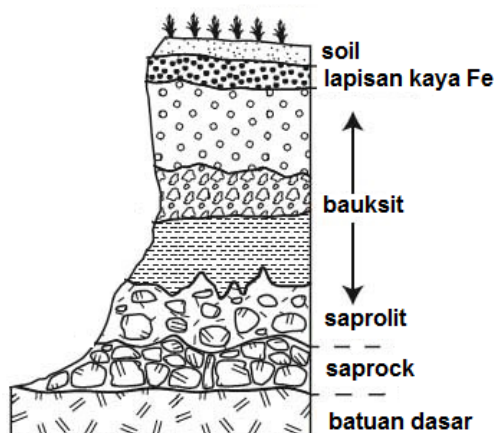


Gambar 4. Sumur Uji

b. Pemerian dan Pengambilan Sampel Batuan untuk Analisis Unsur

Pemerian batuan dilakukan sepanjang kedalaman sumur uji. Pemerian batuan dibagi sesuai zona pelapukan batuan yaitu zona *soil*, zona *limonit*, zona *saprolite*, zona *saprock* dan batuan dasar. Pengambilan sampel batuan untuk analisis unsur dilakukan secara *channel sampling* sesuai zona pelapukan atau zona laterisasi. Pengambilan sampel batuan/soil pada lubang sumur uji dilakukan dengan mempertimbangkan zona laterisasi dan ketebalan zona laterisasi. Zona laterisasi yang dijadikan acuan pada pengambilan sampel adalah zona *soil*, zona *limonit*, zona *saprolith*, zona *saprock* dan zona batuan induk. Sampel batuan/soil yang diambil pada zona *soil* diberi kode A, zona *limonit* diberi kode B, zona *saprolith* diberi kode C, zona *saprock* diberi kode D, pada *bedrock* atau batuan induk diberi kode E (Gambar 5). Masing-masing berat sampel *bulk* adalah 10 kg yang kemudian dilakukan proses *quartering* hingga didapatkan berat sampel 1 kg. Sampel ini selanjutnya dibuat pelet dan dianalisis unsur thorium dan aluminium menggunakan alat

XRF. Selain pengambilan sampel soil/batuan pada sumur uji juga dilakukan pemerian secara megaskopis yang kemudian dikorelasikan dengan analisis laboratorium untuk penentuan kadar unsur. Kadar unsur yang disajikan dalam penelitian ini adalah kadar unsur thorium dan aluminium.



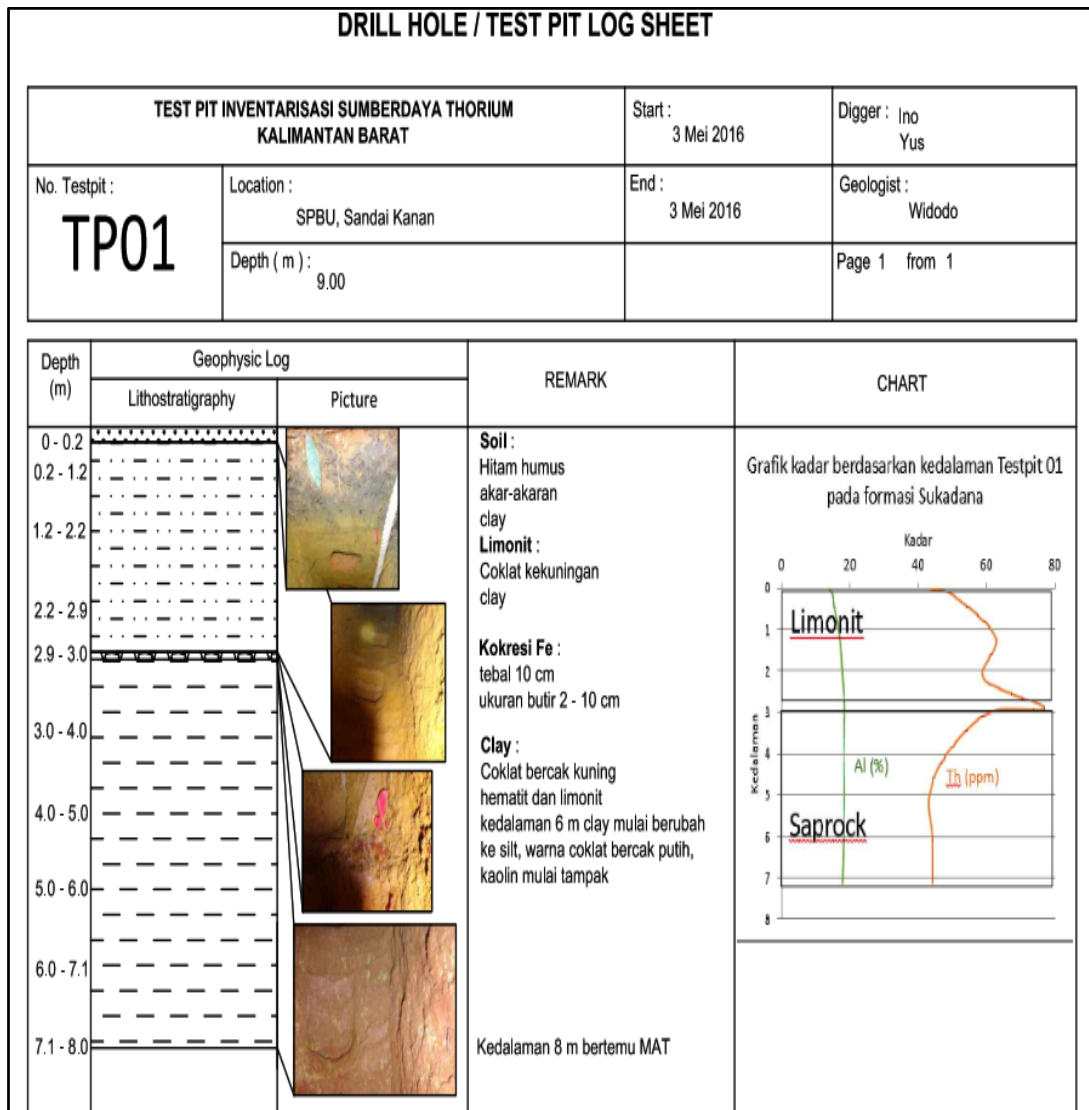
Gambar 5. Zona Pengambilan Sampel Batuan/Soil

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sumur Uji pada wilayah batuan Granit Sukadana

Sumur uji yang dibuat pada wilayah batuan granit Sukadana adalah sumur uji nomor 01. Granit Sukadana terdiri dari beberapa jenis batuan yaitu monzonit kuarsa, monzogranit, syenogranit, granit alkali-felspar, sedikit sienit kuarsa, monzonit kuarsa dan syenogranit, serta langka diorit dan gabro. Beberapa batuan ini berbentuk retas dan urat apilit yang membuat terjadinya ubahan kaolinisasi, terutama pada batuan syenit kuarsa dan granit alkali-felspar. Terdapat mineral mafik berbentuk gumpalan dengan bermacam-macam kandungan mineral yang membuat dugaan batuan ini berasal dari percampuran susunan magma [10]. Kadar thorium dari hasil pengukuran secara regional berkisar antara 8,1 hingga 72,6ppm eTh [5]. Batuan yang tersingkap di sekitar sumur uji nomor 01 adalah granit. Kondisi singkapan sangat lapuk berwarna coklat kemerahan hingga coklat kekuningan, tekstur holokristalin, fanerik kasar. Komposisi mineral terdiri dari kuarsa, ortoklas, plagioklas, biotit, hornblenda. Secara regional batuan di lokasi sumur uji nomor 05 termasuk kelompok granit Sukadana yang berumur Kapur Akhir [10]. Mineral penyerta hasil analisis petrografi granit Sukadana terdiri atas apatit, zirkon, monasit, rutil, epidot dan mineral opak berupa magnetit, ilmenit, dan pirit [11]. Mineral radioaktif yang terkandung pada granit Sukadana selain monasit dan zirkon hasil dari analisis autoradiografi adalah thorit (Th)  $\text{SiO}_4$  [3]. Kadar Th pada kedalaman 0 sampai dengan 7 meter berkisar antara 40 – 80 ppm (rata-rata 53,2 ppm), kadar Al berkisar antara 15 hingga 20 %. Antara unsur Th dan unsur Al tidak berkorelasi, kadar unsur Al relatif tetap pada setiap zona sedangkan unsur Th mengalami pengayaan pada zona antara *limonit* dan *saprock* (Gambar 6). Jika dibandingkan dengan kadar thorium di permukaan hasil pengukuran secara regional yaitu berkisar antara 8,1 hingga 72,6ppm eTh [5], maka kadar thorium pada sumur uji nomor 05 relatif lebih tinggi. Keterdapatan thorium pada endapan laterit bauksit pada sumur uji nomor 05 diperkirakan merupakan hasil pelarutan dari mineral K. Felspar yang terkandung dalam granit [7], atau hasil pelarutan dari thorit yang terdapat sebagai mineral penyerta dalam granit Sukadana [9].

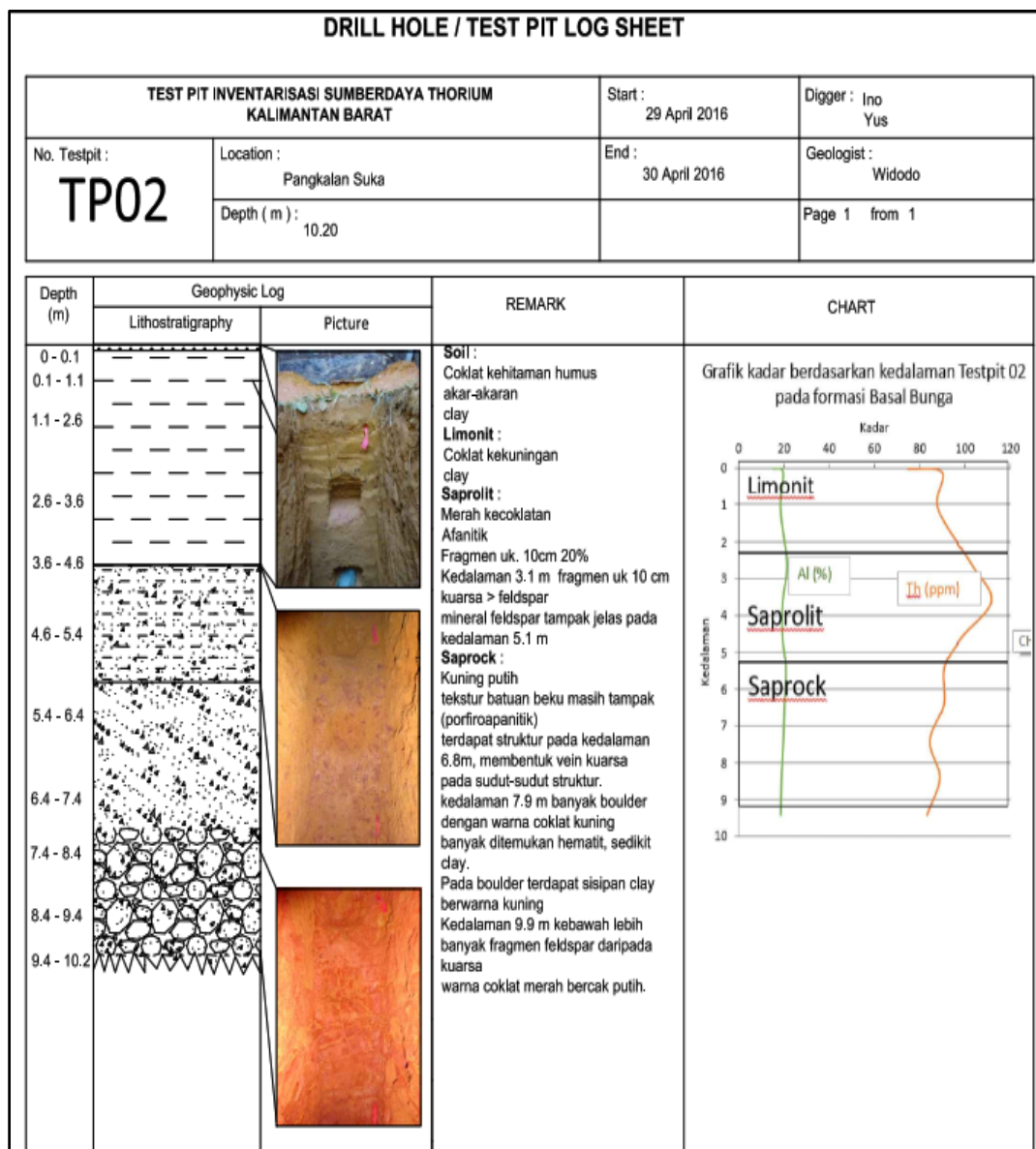




**Gambar 6.** Pemerian Batuan pada Sumur Uji Nomor 01

### Sumur Uji pada batuan basalt Bunga

Sumur uji yang dibuat pada wilayah batuan basalt Bunga adalah sumur uji nomor 02. Basalt Bunga terdiri dari batuan basalt, dasit, andesit, lava, tuf dan breksi gunungapi. Kelompok batuan ini diperkirakan berumur Kapur Akhir – Paleosen [10]. Kadar thorium dari hasil pengukuran secara regional berkisar dari 9,9 ppm hingga 85,9 ppm eTh [5]. Batuan yang tersingkap di sumur uji nomor 02 adalah basalt dalam kondisi sangat lapuk. Warna abu-abu kecoklatan hingga coklat kemerahan, tekstur afanitik, komposisi mineral terdiri atas plagioklas, hornblende dan olivin. Kadar thorium pada sumur uji nomor 02 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 thorium dan unsur aluminium. Kadar unsur Al relatif tetap pada setiap zona sedangkan pengayaan unsur thorium 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 7). Jika dibandingkan dengan kadar thorium di permukaan hasil pengukuran secara regional yaitu berkisar antara 9,9 ppm hingga 85,9 ppm eTh [5], maka kadar thorium pada sumur uji nomor 02 relatif lebih tinggi.



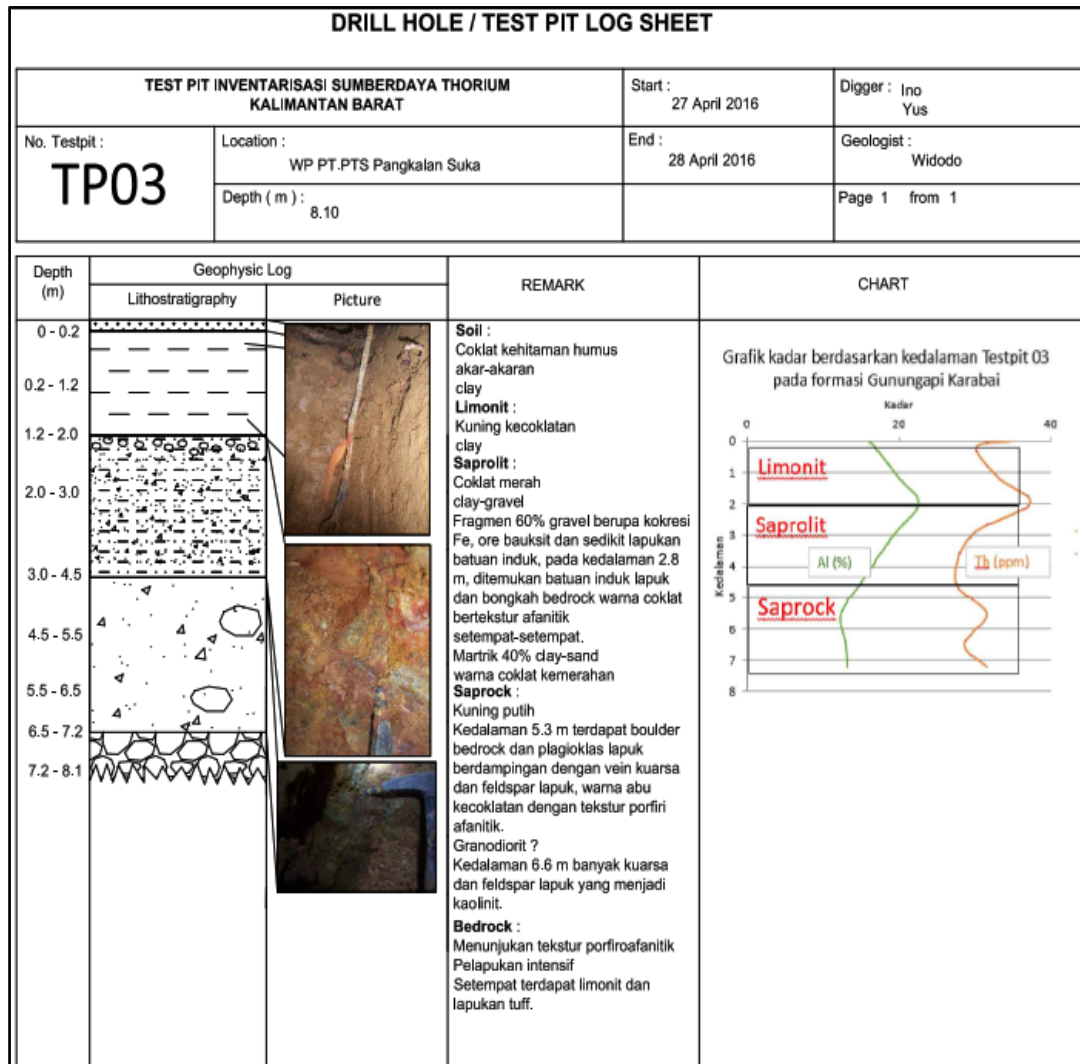
**Gambar 7.** Pemerian Batuan Sumur Uji Nomor 02

### Sumur Uji pada batuan Gunungapi Kerabai

Sumur uji yang dibuat pada wilayah batuan gunungapi Kerabai adalah satu buah yaitu sumur uji nomor 03. Batuan Gunungapi Kerabai merupakan kelompok batuan yang umumnya berupa batuan andesit dan basalt, selain itu setempat-setempat terdapat dolerit, trahitandesit, dasit, riodasit dan riolit. Kebanyakan terdiri dari batuan piroklastik berupa abu, lapili, kristal, tufa kristal dan litik, breksi gunungapi dan aglomerat, terdapat terobosan pandangan dan lava porfiritik, terpotong oleh urat-urat khlorit-epidot serta terdapat ubahan hidrotermal. Batuan ini diperkirakan berumur Kapur Ahir – Paleosen [10]. Kadar thorium berdasarkan hasil survei regional adalah berkisar antara 6,3 ppm hingga 79,8 ppm eTh [5]. Batuan yang tersingkap pada sumur uji nomor 03 adalah dolerit. Kenampakan megaskopis batuan pada umumnya lapuk berwarna coklat abu-abu, segar berwarna abu-bau kecoklatan hingga abu-abu kehijauan, tekstur porfiritik. Mineral penyusun batuan terdiri dari palgioklas, piroksin dan olivin. Kadar unsur thorium pada kedalaman 0 meter hingga 8 meter adalah berkisar antara 28 ppm hingga 35 ppm dengan kadar rata-rata sebesar 31,6 ppm sedangkan kadar unsur aluminium berkisar dari 15 ppm sampai dengan 22 ppm. Antara unsur thorium dan aluminium terdapat korelasi yang cukup baik. Kadar unsur Al dan Th mulai menunjukkan penambahan pada zona *limonit* dan juga mengalami pengurangan kadar muati pada zona *saprock*. Seperti halnya pada pengayaan unsur Al, pengayaan unsur thorium



mulai pada zona *limonit* (Gambar 8). Jika dibandingkan dengan kadar thorium di permukaan hasil pengukuran secara regional yaitu berkisar antara 6,3 ppm hingga 79,8 ppm eTh [5], maka kadar thorium pada sumur uji nomor 03 relatif lebih rendah.



Gambar 8. Pemerian Batuan pada Sumur Uji Nomor 03

## KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa kadar thorium tertinggi terdapat pada sumur uji di wilayah batuan basalt Bunga yaitu mencapai 115 ppm sedangkan yang terendah terdapat pada wilayah batuan gunungapi Kerabai yaitu 28 ppm. Di wilayah batuan granit Sukadana dan batuan basalt Bunga unsur thorium dan aluminium tidak berkorelasi tetapi di wilayah batuan gunungapi Kerabai berkorelasi cukup baik. Di wilayah granit Sukadana pengayaan thorium terjadi pada zona antara *limonit* dan *saprock*, sedangkan di wilayah batuan basalt Bunga terjadi pada zona *saprolith* dan di wilayah batuan gunungapi Kerabai terjadi pada zona *limonit*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN) – BATAN atas pendanaan pada kegiatan penelitian ini serta kepada Bapak Bambang Sutopo, Slamet Sudarto dan Sartapa yang telah membantu pengambilan data lapangan serta teman-teman laboratorium geokimia yang telah membantu analisis di laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

- BRADLEY S. VAN GOSEN AND HARIKRISHNAN TULSIDAS, "Thorium is a Nuclear Fuel" National nuclear Laboratory UK, 2012

2. NATIONAL NUCLEAR LABORATORY LTD. "Comparison of thorium and uranium fuel cycles" United Kingdom, 2012
3. LILIK SUBIANTORO, BAMBANG SOETOPO, DWI HARYANTO "Kajian Awal Prospek Bahan Galian Monasit Mengandung U Dan Elemen Asosiasinya Di Semelangan Ketapang, Kalimantan Barat" *Eksplorium* Volume XXXII No. 155, Mei 2011 : 1 – 16
4. BAMBANG SOETOPO, HERY SYAEFUL, ANANG MARZUKI, SLAMET SUDARTO "Tinjauan Umum Potensi Sumberdaya Monasit Di Daerah Ketapang Kalimantan Barat" *Eksplorium* Volume 32 No. 2, November 2011: 103 – 114
5. SUHARJI, M.NURDIN, SARTAPA, HERRY P., : Inventarisasi Potensi Sumberdaya Monasit di Daerah Aliran Sungai Pesaguan, Sungai Pawan dan Sungai Kendawangan di Ketapang, Kalimantan Barat", Laporan Akhir PTBGN-BATAN, Jakarta (2013).
6. SEANKO NERI ANGGI, "Deteksi Keberadaan Endapan Laterit Bauksit dengan Pemanfaatan Gelombang Radar", Skripsi, Fak. MIPA UI, 2009
7. LEONID E. M., " Geochemistry Of Trace Elements In Paleozoic Bauxite Profile In Northern Rusia ", *Jurnal of Geochemical Exploration* 57 (1996) 187-199, St. Petersburg (1996)
8. GAMALETSOS PLATON, GODELITSAS ATHANASIO, KASAMA TAKESHI, KUZMIN ALEXEI, STEININGER RALPH, PONTIKES YIANNIS, GOTTLICHER JORG, " The Nature of Thorium in Bauxite and Bauxite Residue from Greece" DTU's Sustain Conference 2015
9. XIN DU, ANDREW W.R., M.A. MARY GEE, " Redistribution And Mobilization Of Titanium, Zirconium And Thorium In An Intensely Weathered Laterite Profile In Western Australia", *Chemical Geology* 330-331(2015) 101-115, [www.elsevier.com/locate/chemgeo](http://www.elsevier.com/locate/chemgeo), 2012. Diakses tanggal 14 April 2016.
10. E. RUSTANDI, dkk, "Peta Geologi Lembar Ketapang, Kalimantan, skala 1 : 250.000", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung (1993)
11. ZAINUDIN H, SOEPRAPTO; " Studi Granit Tukul Sebagai Sumber Uranium, Semelangan Kalimantan Barat, Laporan Akhir PPBGN-BATAN, Jakarta, 1991 (tidak dipublikasikan)