

## IDENTIFIKASI DAN *FINGER PRINT* BATUAN URANIUM

Budi Briyatmoko, Yusuf Nampira, Purwadi Kasino Putro, Syafruddin, Suliyanto, Novianti, Yanlinastuti, Mujinem, Sutri Indaryati, Rosika Kriswarini, Dian Anggraini, Suprijono, Muradi, Budi Santosa, Sunardi, Bening Farawan

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

### ABSTRAK

Identifikasi dan *finger print* bahan nuklir secara umum masih belum banyak dilakukan di BATAN. Kegiatan ini penting untuk segera dilakukan karena terkait dengan keselamatan dan keamanan nuklir. Tupoksi Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) adalah mengembangkan teknologi bahan bakar nuklir di Indonesia. Dalam menjalankan tupoksinya tersebut, PTBBN berkomitmen selalu meningkatkan dan memprioritaskan keselamatan dan keamanan nuklir. Kegiatan forensik nuklir sangat membantu untuk meningkatkan keamanan bahan nuklir yang ada di PTBBN. Dengan melakukan kegiatan identifikasi dan penentuan *finger print* atau sidik jari bahan nuklir, kita dapat mempunyai *database* bahan nuklir yang mengandung informasi tentang data karakteristik bahan nuklir termasuk di dalamnya sifat fisik, kimia dan fisika, isotop, struktur, morfologi, data visual, data asal usul bahan nuklir, dan lain sebagainya terkait dengan bahan nuklir. Dalam kegiatan ini juga ada kegiatan litbang untuk menentukan *finger print* atau sidik jari dari bahan nuklir. Kegiatan seperti ini termasuk bagian dari forensik nuklir. Di luar negeri kegiatan litbang penentuan sidik jari bahan nuklir sedang banyak dilakukan. Banyak negara yang ingin meningkatkan keselamatan dan keamanan nuklir terhadap bahan nuklir yang dimiliki. Dalam menentukan *finger print* bahan nuklir diperlukan *basic science* yang kuat terkait dengan sifat-sifat bahan nuklir dan penguasaan pengetahuan tentang aplikasi berbagai jenis alat analisis dan uji di bidang bahan nuklir. Kegiatan lain yang juga dilakukan adalah pembuatan Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk penanganan bahan nuklir yang ditemukan di luar kendali badan pengawas atau *nuclear incident*. *Output* yang ingin dicapai dalam kegiatan ini adalah *database* bahan nuklir di Batan yang diharapkan nantinya dapat menjadi embrio dibangunnya perpustakaan nuklir nasional di Indonesia. *Output* lainnya adalah diperolehnya metoda baku analisis/ pengujian terkait identifikasi *finger print* bahan nuklir dan SOP penanganan bahan nuklir terkait *nuclear incident*. Untuk mencapai *output* dari kegiatan forensik nuklir di atas diperlukan langkah-langkah kegiatan sebagai berikut: yang pertama perlu disiapkan SDM yang akan menangani kegiatan forensik nuklir. Yang kedua perlu disiapkan sarana prasarana untuk mendukung pengembangan forensik nuklir. Yang ketiga perlu disiapkan metode atau sistem baku yang akan dipakai untuk identifikasi dan penentuan sidik jari bahan nuklir dan *draft* penanganan *nuclear incident*. *Output* dari kegiatan ini adalah kumpulan data karakteristik bahan nuklir berupa batuan mineral uranium yang dipakai sebagai *finger print* bahan tersebut. Selain itu juga diperoleh metoda yang dapat dipakai sebagai bahan untuk membuat SOP analisis bahan nuklir. *Outcome* dari kegiatan ini adalah diperolehnya peningkatan keselamatan dan keamanan dalam penggunaan bahan nuklir di Indonesia sehingga dapat ikut membantu keselamatan dan keamanan penggunaan bahan nuklir di tingkat internasional.

**Kata kunci:** *finger print*, forensik nuklir, *database*, perpustakaan nuklir nasional, *nuclear incident*, keselamatan dan keamanan

### PENDAHULUAN

Diantara tugas PTBBN adalah menyelenggarakan fungsi pelaksanaan pengembangan teknologi fabrikasi bahan bakar nuklir; pelaksanaan pengembangan teknik uji radiometalurgi; pelaksanaan pengembangan dan pengelolaan fasilitas bahan bakar nuklir; pelaksanaan pemantauan keselamatan kerja dan akuntansi bahan nuklir; pelaksanaan jaminan mutu; pelaksanaan pengamanan nuklir dan pelaksanaan tugas lain yang diberikan oleh Deputi Bidang Teknologi Energi Nuklir<sup>[1]</sup>. Dalam kegiatannya

mengembangkan bahan bakar, PTBBN berkomitmen selalu meningkatkan dan memprioritaskan keselamatan dan keamanan nuklir. Kegiatan nuklir forensik sangat membantu untuk meningkatkan keamanan bahan nuklir yang ada di PTBBN.

Dalam konferensi internasional tentang keamanan nuklir, keamanan nuklir menjadi perhatian masyarakat internasional terkait dengan kekhawatiran jatuhnya bahan nuklir ke tangan orang-orang yang tidak bertanggung jawab<sup>[2]</sup>. IAEA menghimbau kepada negara-negara anggotanya untuk meningkatkan sistem keamanan fasilitas nuklir dan bahan nuklir yang dimilikinya. Forensik nuklir merupakan bagian dari keamanan nuklir. Melalui forensik nuklir dapat ditingkatkan sistem keamanan bahan nuklir yang dimiliki suatu negara. Kegiatan forensik nuklir meliputi analisis dan karakterisasi bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya. Karakteristik bahan nuklir yang dianalisis meliputi sifat kimia, fisika, isotop, strukturmikro, fasa, dimensi, pengamatan visual, dan lainnya. Kumpulan data karakteristik tersebut disebut fingerprint dari bahan nuklir. Kegiatan forensik nuklir dapat membantu investigasi hilangnya bahan nuklir di luar kendali badan pengawas<sup>[3]</sup>. IAEA menghimbau kepada negara-negara anggotanya agar mempunyai perpustakaan nasional forensik nuklir yang menyimpan kumpulan *database* karakteristik bahan nuklir dan keterangan penting lainnya terkait dengan bahan nuklir tersebut. Melalui perpustakaan nasional forensik nuklir ini dapat membantu dalam menelusur bila ada temuan bahan nuklir di luar kendali badan regulasi<sup>[3]</sup>. Caranya dengan membandingkan karakteristik bahan nuklir yang ditemukan dengan karakteristik bahan nuklir yang tersimpan di perpustakaan nasional forensik nuklir.

Pada kegiatan ini telah dilakukan analisis dan pengujian bahan nuklir berupa batuan mineral uranium dengan tujuan untuk mengumpulkan *database* karakteristik bahan nuklir yang dimiliki BATAN. Secara umum, kegiatan yang dilakukan diantaranya adalah: Identifikasi karakteristik geologi (deskripsi material geologi batuan dan deposit). Data yang ingin dihasilkan diantaranya adalah lokasi penambangan, formasi geologi, tipe deposit, teknik penambangan dan warna. Identifikasi mineralogi (bagian dari proses Identifikasi mineral eksplorasi dan penambangan). Data yang ingin diperoleh diantaranya adalah Kandungan mineral, komposisi mineral dan persen vol mineral. Penentuan konsentrasi uranium dengan UV-Vis. Data yang ingin diperoleh diantaranya adalah konsentrasi U dan ketidakpastian pengukuran, penentuan isotop uranium  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  dan  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  dengan gamma & alpha spectrometry. Penentuan kandungan unsur dengan ICP-AES, data yang ingin diperoleh diantaranya adalah konsentrasi kandungan unsur dan ketidakpastian pengukuran. Kegiatan berikutnya adalah penanganan *nuclear forensic incident*. Data yang ingin diperoleh diantaranya adalah SOP terkait dengan penanganan insiden yang melibatkan bahan nuklir. Keluaran dari kegiatan ini adalah kumpulan data

karakteristik bahan nuklir, metoda baku pengujian dan *standard operating procedure* penanganan bahan nuklir bila terjadi insiden bahan nuklir.

## METODOLOGI

Metoda pengujian yang dilakukan adalah dengan melakukan pengujian dan analisis terhadap bahan nuklir dengan menggunakan metoda yang sudah ada dan sesuai dengan pengujian/analisis yang diinginkan. Bila metoda yang diperlukan tidak ada atau metoda yang tersedia tidak sesuai dengan keperluan pengujian/analisis maka dicoba dengan mengacu pada jurnal, literatur ataupun informasi yang diperoleh dari sumber lain. Kemudian metoda yang diperoleh dilakukan validasi dengan menggunakan sampel standar. Dipastikan alat uji/analisis dan alat ukur lain yang dipakai sudah terkalibrasi. Dipastikan juga operator yang melakukan pengukuran/pengujian/analisis sudah berpengalaman atau telah mengikuti pelatihan pengoperasian alat terkait.

Jenis-jenis pengujian yang dikenakan pada bahan nuklir untuk keperluan forensik nuklir mengacu pada IAEA *nuclear security series*<sup>[4]</sup>. Beberapa pengujian yang dikenakan pada sampel bahan nuklir berupa batuan mineral uranium diantaranya adalah identifikasi geologi untuk eksplorasi mineral radioaktif, identifikasi mineral dalam eskplorasi dalam eksplorasi mineral radioaktif, penentuan konsentrasi uranium dan unsur pengotornya, analisis kandungan isotop uranium, angka banding  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  dan angka banding  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  dalam batuan mineral uranium.

### Metoda Identifikasi Geologi

- a. Identifikasi geologi dilakukan dengan cara mengkaji data geologi dan data geokimia baik data permukaan maupun data pemboran, data topografi, data lingkungan dan data sosiologi keadaan daerah setempat.
- b. Peralatan yang dipakai diantaranya adalah *global positioning system* (GPS), kompas geologi, palu geologi, kaca pembesar dan kamera, sedangkan bahan yang digunakan adalah peta dasar yaitu peta geologi regional dan peta topografi.
- c. Untuk analisis petrografi untuk mengidentifikasi nama batuan dan komposisi mineralnya, digunakan alat mikroskop polarisasi, bahan yang digunakan adalah sayatan tipis batuan.
- d. Setelah mendapatkan daerah prospek, dibuat rencana pemetaan geologi yang dituangkan ke dalam peta rencana kerja atau peta rencana lintasan geologi.
- e. Kemudian dilakukan pengamatan singkapan batuan dan mendeskripsi singkapan batuan yang dijumpai dengan bantuan kaca pembesar dan dicatat dalam buku

lapangan mengenai lokasi koordinat singkapan batuan (menggunakan alat GPS), dimensi singkapan batuan, komposisi mineral batuan, dan struktur geologi.

- f. Selanjutnya dilakukan pengambilan sampel batuan pada lokasi yang dianggap mewakili untuk analisis di laboratorium.

#### **Metoda Identifikasi Mineral Radioaktif**

- a. Mengkaji data geologi dan data mineralogi baik data permukaan maupun data pemboran.
- b. Peralatan lapangan terdiri dari spektrometer sinar gamma, *global positioning system* (GPS), kompas geologi, palu geologi, kaca pembesar, alat pemotong batuan khusus (*chainsaw* batuan), dan kamera.
- c. Bahan yang digunakan adalah peta dasar yaitu peta geologi dan peta topografi hasil penelitian terdahulu yang telah diketahui terdapat mineral radioaktif dengan skala 1 :1000 sampai dengan 1 : 10.000.
- d. Untuk keperluan analisis mineragrafi yang bertujuan untuk identifikasi nama mineral radioaktif (uranium dan thorium) dan komposisi mineralnya, digunakan mikroskop polarisasi cahaya pantul, dan bahan yang digunakan adalah sayatan poles bijih.
- e. Setelah mendapatkan lokasi untuk identifikasi mineral radioaktif selanjutnya membuat rencana pengambilan sampel bijih yang dituangkan kedalam peta lokasi rencana pengambilan bijih.
- f. Pengambilan sampel bijih radioaktif dilakukan dengan cara mengikuti lintasan jalan yang telah ditentukan menuju lokasi sampel bijih yang akan diambil.
- g. Apabila telah sampai lokasi bijih yang dimaksud selanjutnya singkapan bijih diukur dengan spektrometer sinar gamma untuk mengecek apakah lokasi tersebut adalah lokasi bijih radioaktif.
- h. Kemudian mendeskripsi singkapan bijih yang dijumpai secara megaskopis dengan bantuan kaca pembesar dan dicatat dalam buku lapangan mengenai lokasi koordinat singkapan bijih (menggunakan alat GPS), dimensi bijih radioaktif, komposisi mineral bijih, struktur atau batuan pengontrol bijih.
- i. Analisis yang dilakukan adalah analisis autoradiografi, analisis mineragrafi dan XRD.
- j. Analisis autoradiografi dilakukan untuk mengetahui bagian bijih yang bersifat radioaktif.

Metoda identifikasi geologi dan mineralogi sudah sering dipakai di Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir-BATAN<sup>[5]</sup>.

### Metoda Penentuan Konsentrasi Uranium dan Unsur Pengotor

- a. Melarutkan 2 gram sampel batuan uranium yang telah digerus halus dan dipanaskan suhu 900 °C selama 4 jam dengan HNO<sub>3</sub> pekat 100 ml dalam beker *glass* 250 ml dan dipanaskan pada suhu 200 °C tanpa ditutup.
- b. Setelah kihat dipindahkan ke Beker Teflon sambil dibilas dengan aquades. Kemudian ditambahkan 25 ml campuran HNO<sub>3</sub> dan HF (5:1) dengan konsisi Teflon tertutup.
- c. Kalau belum larut ditambahkan lagi 25 ml campuran HNO<sub>3</sub> dan HF (5:1) hingga larut semua.
- d. Teflon dibuka ke dalam sampel ditambah 200 ml aquades dan dipanasi dengan suhu sekitar 150 °C, diulang tiga kali. Tujuan penguapan adalah untuk menghilangkan NO<sub>2</sub><sup>-</sup> dan F<sup>-</sup>.
- e. Kemudian sampelnya dimasukkan ke dalam Labu Ukur 50 ml dan ditambah HNO<sub>3</sub> 3M hingga tanda batas.
- f. Langkah selanjutnya adalah ekstraksi dengan menggunakan campuran TBP dan Hexane dengan perbandingan 7 : 3 sebanyak 25 ml. Pengerjaannya dilakukan 3 kali.
- g. Hasil ekstraksi fase airnya yang mengandung unsur-unsur pengotor diperiksa dengan menggunakan ICP-AES, sedangkan fase organiknya yang mengandung uranium dilakukan stripping dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 % sebanyak 10 ml dilakukan 4 kali.
- h. Fasa air hasil stripping yang mengandung uranium diuapkan 4 kali dengan aquades untuk menghilangkan sisa asam.
- i. Setelah penguapan hasilnya ditambah aquades hingga 50 ml, dan diambil kira-kira 3 ml dimasukkan dalam kuvet untuk diukur kandungan uraniumnya dengan menggunakan UV-Vis.
- j. Untuk melakukan pengujian unsur di dalam larutan menggunakan alat ICP-AES menggunakan SOP yang sudah ada <sup>[6,7]</sup>, sedangkan untuk analisis/pengujian kandungan uranium dengan menggunakan UV-Vis masih dalam bentuk draft.

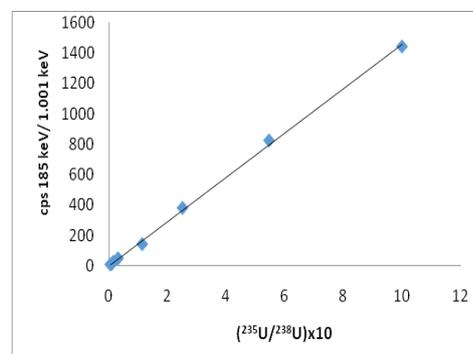
### Metoda Analisis Angka Banding <sup>235</sup>U/<sup>238</sup>U Dalam Sampel Batuan Mineral Uranium Menggunakan Gamma Spektrometri

Di dalam batuan mineral uranium, selain mengandung uranium juga ada beberapa unsur seperti yang diuraikan di atas. Dalam rangka melakukan pengumpulan data sidik jari batuan uranium yang terdapat di Indonesia, beberapa parameter yang masuk dalam *finger print* batuan uranium diantaranya adalah kandungan uranium, perbandingan isotop <sup>235</sup>U/<sup>238</sup>U dan perbandingan isotop <sup>234</sup>U/<sup>238</sup>U.

Metoda yang dilakukan adalah:

- Siapkan sampel yang akan dianalisis sudah dalam keadaan cair dan homogen
- Lakukan kalibrasi energi dari alat gamma spektrometer dengan menggunakan energi  $^{60}\text{Co}$
- Lakukan kalibrasi  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  dengan menggunakan standard isotop uranium
- Lakukan analisis sampel dengan menggunakan spektrometri gamma
- Dari hasil analisis diperoleh kurva berupa cacahan spektrum untuk berbagai energi
- Hitung besarnya perbandingan cacah gamma pada energi 185 keV/1001 keV
- Bandingkan hasilnya dengan nilai standard  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$
- Diperoleh nilai perbandingan isotop  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  dari sampel yang dianalisis

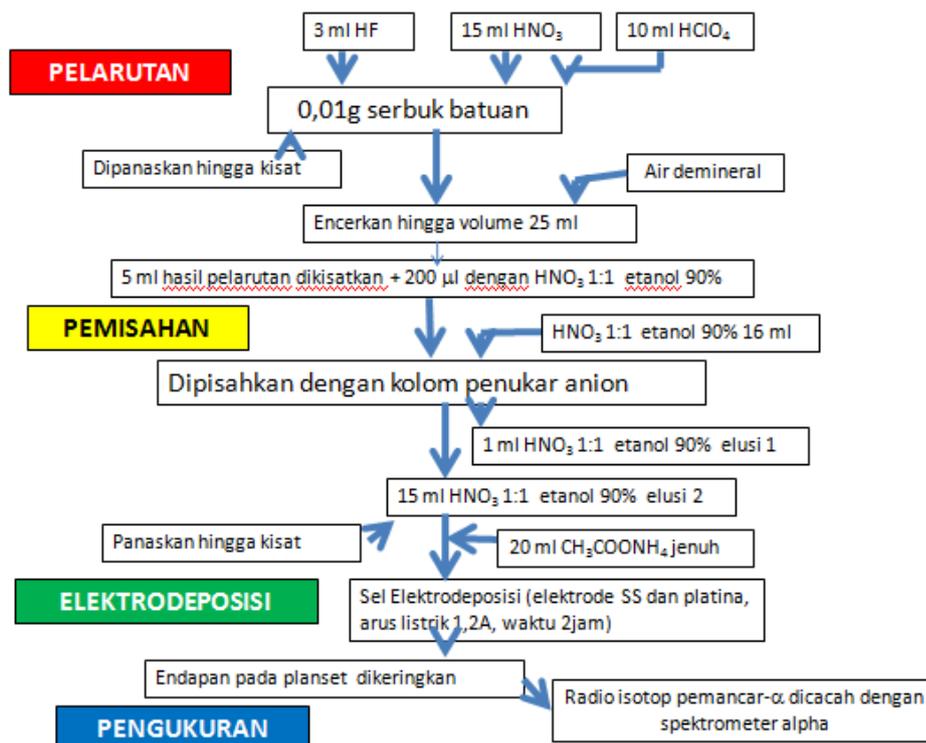
Hubungan antar perbandingan cacah gamma pada energi 185 keV/1001 keV dengan perbandingan konsentrasi  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  menunjukkan hubungan yang linier, keadaan ini ditunjukkan dalam Gambar 1 yang merupakan kurva standar. Berdasarkan kurva standar tersebut, kandungan isotopik  $^{235}\text{U}$  dan angka banding  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  dalam sampel ditentukan dengan cara memotongkan hasil perbandingan cacah puncak pada energi 185 keV terhadap cacah puncak energi 1001 keV hasil pengukuran sampel terhadap kurva standar tersebut. Untuk melakukan analisis isotop uranium dengan menggunakan spektrometer gamma mengikuti SOP yang sudah ada<sup>[8]</sup>.



Gambar 1. Hubungan *net area* 185 keV/1.001 keV terhadap  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$

#### Metoda Analisis angka banding $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ dalam sampel batuan mineral uranium menggunakan alpha spektrometri.

- Metodanya diuraikan dalam Gambar 2, sedangkan untuk melakukan analisis kandungan isotop U pemancar alpha dengan menggunakan spektrometer alpha mengikuti SOP yang sudah ada<sup>[9]</sup>.



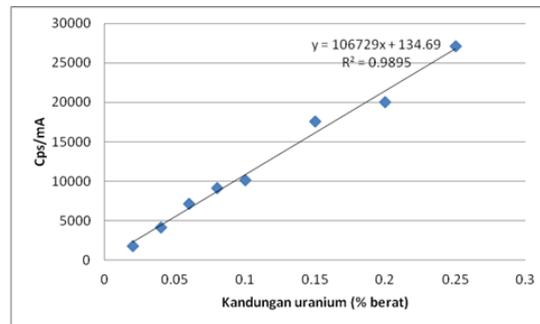
Gambar 2. Metoda analisis angka banding  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$

### Metoda Pembuatan Standar Analisis Uranium Dalam Batuan

Matrik dalam suatu sampel dapat berfungsi sebagai *barrier* dan menghambat sinar yang dipancarkan oleh atom analit yang ditentukan sehingga matrik akan berpengaruh pada analisis suatu unsur. Terutama pada analisis unsur dengan cara tidak merusak menggunakan indikator deteksi gelombang elektromagnetik berenergi rendah, dalam hal ini dengan menggunakan deteksi fluoresensi sinar-X dengan menggunakan SOP yang sudah ada<sup>[10]</sup>.

- Metoda analisisnya adalah dengan membuat deret standar pengukuran dengan cara mencampurkan uranium dioksida dengan uranium hingga berat campuran 1 g.
- Campuran dihomogenisasi kemudian dilakukan pengukuran intensitas sinar-X fluoresensi.
- Hasil pengukuran dibuat kurva hubungan antara kandungan uranium terhadap intensitas sinar-X seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.
- Sampel batuan yang akan diukur kandungan uraniumnya di panaskan pada temperatur 120 °C hingga seluruh bahan yang mudah menguap diuapkan.
- Sampel ditimbang 1 g untuk dilakukan pengukuran.
- Intensitas sinar-X ini dipotongkan pada kurva standar.

- Berdasarkan kurva yang ditunjukkan dalam Gambar 3 ini kandungan uranium dalam sampel ditentukan.



Gambar 3. Hubungan antara berat uranium terhadap Intensitas fluoresensi sinar-X

**Metoda analisis fasa dan kristalografi batuan mineral uranium dengan menggunakan XRD.**

- Pengoperasian alat XRD mengacu pada SOP yang sudah ada<sup>[11]</sup>.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Identifikasi Geologi dan Mineralogi**

Beberapa data yang diperoleh dari kegiatan tersebut di atas disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik geologi dan mineralogi batuan uranium.

Lokasi penambangan	Eko Remaja	Sungai Marta	Tor Siandulimat, Sumatra Utara	Boteng, Mamuju
Formasi geologi	Malihan Pinoh Rock	Riolit Nyaa	Sibolga formation	Adang volcano formation
Tipe endapan	Vein type	Volcanogenic	Sedimentary	Volcanogenic
Teknik penambangan	Underground shrinkage stopping mine	-	-	-
Warna	Hitam keabu abuan	Abu-abu kehitaman	Coklat kekuningan	Coklat kekuningan - keputihan
Kandungan mineral	Uraninite, brannerite, davidite, and gummite	Pitchblende	Pitchblende	Pitchblende
Komposisi kimia mineral	Uraninite: $UO_2$ Brannerite: $(U^{4+}, Ca)(Ti, Fe^{3+})_2O_6$ (Uranium Calcium Titanium Iron Oxide) Davidite: $La_{0.7}Ce_{0.2}Ca_{0.1}Y_{0.75}U_{0.25}Ti_{15}Fe_3 + 5038$ Gummite: $UO_3 \cdot nH_2O$	$UO_2$	$UO_2$	$UO_2$

Berdasarkan pada IAEA *nuclear security series* No. XX, data karakteristik dalam Tabel 1 tersebut di atas adalah data yang diperlukan dalam forensik nuklir untuk dipakai sebagai data *fingerprint* bahan nuklir yang berasal dari batuan uranium. Data tersebut diperlukan sebagai *database* karakteristik *fingerprint* batuan mineral uranium yang berasal dari empat lokasi penambangan yang berbeda. Lokasi penambangan Eko Remaja berada di Kalan, Kalimantan Barat, lokasi penambangan Sungai Marta berada di Mahakam, Kalimantan Timur, lokasi penambangan Tor Siandulimat berada di Sumatra Utara, dan lokasi penambangan Boteng, Mamuju berada di Sulawesi Barat.

### Penentuan konsentrasi uranium dan unsur pengotornya

Hasil yang diperoleh dari kegiatan ini disajikan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Kandungan U dalam sampel batuan mineral uranium

No	Nama sampel	Konsentrasi (ppm)
1	Eko Remaja	8002.26
2	Tor Siandulimat, Sumatra Utara	70742.40
3	Boteng, Mamuju	1354.50
4	Sungai Marta	515.08

Tabel 3. Kandungan unsur pengotor dalam sampel batuan mineral uranium

10.	Nama Sampel	Konsentrasi (ppm)							
		As	Cd	Ce	Co	Cr	Dy	Eu	Fe
1	Eko Remaja	27599,863	ttd	ttd	ttd	209,290	47,428	461,407	30708,10
2	Tor Siandulimat, Sumatra Utara	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	1,689	0,521	5929,46
3	Boteng, Mamuju	ttd	7,847	ttd	ttd	ttd	5,459	3,465	49712,03
4	Sungai Marta	1393,506	ttd	ttd	ttd	ttd	8,037	1,503	29181,68

No	Nama Sampel	Konsentrasi (ppm)					
		Gd	Hf	La	Ni	Sb	Sm
1	Eko Remaja	31,663	10,201	48,189	11619,942	69,424	48,197
2	Tor Siandulimat, Sumatra Utara	5,459	9,043	51,889	ttd	131,429	18,271
3	Boteng, Mamuju	36,105	89,963	276,250	ttd	ttd	30,437
4	Sungai Marta	13,708	33,712	52,507	ttd	ttd	24,334

Kandungan uranium dalam masing-masing sampel tersebut di atas sangat berbeda-beda dan ini menjadi salah satu karakteristik yang dapat dipakai sebagai *fingerprint* dari batuan mineral dari masing-masing lokasi yang berbeda. Begitu juga untuk kandungan unsur-unsur pengotornya dari ke empat sampel yang berasal dari tempat yang berbeda, datanya dipakai sebagai karakteristik yang membedakan ke empat sampel batuan mineral uranium yang telah dianalisis dalam kegiatan ini.

#### **Analisis kandungan isotop uranium, angka banding $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ dan angka banding $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ dalam batuan mineral**

Analisis yang dilakukan untuk mengetahui kandungan isotop uranium dalam batuan mineral uranium diuraikan dalam poin-poin di bawah ini.

##### **a. Analisis angka banding $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ dalam sampel batuan mineral uranium menggunakan gamma spektrometri**

Hasil yang diperoleh disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Angka banding  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$  untuk berbagai sampel

No	Nama sampel	Angka banding $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$
1	Eko Remaja	0.007244
2	Tor Siandulimat, Sumatra Utara	0.007279
3	Boteng, Mamuju	0.007208
4	Sungai Marta	0.007142

Dari Tabel 4 nampak bahwa angka banding dari ke empat sampel adalah hampir sama, namun nilai tertinggi berasal dari sampel Tor Siandulimat, Sumatra Utara. Meskipun nilai-nilai tersebut hampir sama namun tetap ada perbedaan meskipun kecil. Perbedaan tersebut merupakan karakteristik dari sampel yang dapat menunjukkan *fingerprint* dari sampel tersebut. Kumpulan data seperti ini dapat dipakai sebagai kumpulan *database* yang dapat dipakai untuk mengembangkan perpustakaan nasional forensik nuklir.

##### **b. Analisis angka banding $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ dalam sampel batuan mineral uranium menggunakan alpha spektrometri**

Angka banding  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  ditentukan dengan menganalisis isotop uranium tersebut. Seluruh isotop uranium merupakan radioisotop yang tidak stabil. Isotop uranium ini memancarkan radiasi alpha. Oleh sebab itu radioaktivitas-alpha yang dipancarkan ini dapat diukur dengan menggunakan *spectrometer alpha*. Pengamatan radioaktivitas dengan spektrometer alpha menghasilkan spektrum alpha, yang menunjukkan puncak-puncak yang mengindikasikan radiasi yang dipancarkan oleh radioisotop yang ada dalam

sampel. Adapun luas puncak ini setara dengan tingkat radiasi dari radio isotop tersebut dan *yield* radiasi pada energi yang bersangkutan. Hasil yang diperoleh disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Angka banding  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  untuk berbagai sampel

No	Nama sampel	Angka banding $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
1	Eko Remaja	0.000602
2	Tor Siandulimat, Sumatra Utara	0.000605
3	Boteng, Mamuju	0.000582
4	Sungai Marta	0.000582

Seperti halnya yang dijumpai dalam Tabel 4, dalam Tabel 5 ini juga ditunjukkan nilai angka banding  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  yang hampir sama untuk berbagai sampel. Meskipun demikian, perbedaan yang relatif kecil ini merupakan karakteristik dari sampel, dan nilai ini merupakan *fingerprint* dari sampel tersebut.

#### c. Pembuatan standar analisis uranium dalam batuan

Hasil pengukuran kandungan uranium dalam batuan mineral ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Kandungan uranium dalam sampel batuan

No	Nama sampel	Kandungan uranium, %
1	Eko Remaja	3.841
2	Tor Siandulimat, Sumatra Utara	0.018
3	Boteng, Mamuju	0.305
4	Sungai Marta	1.680

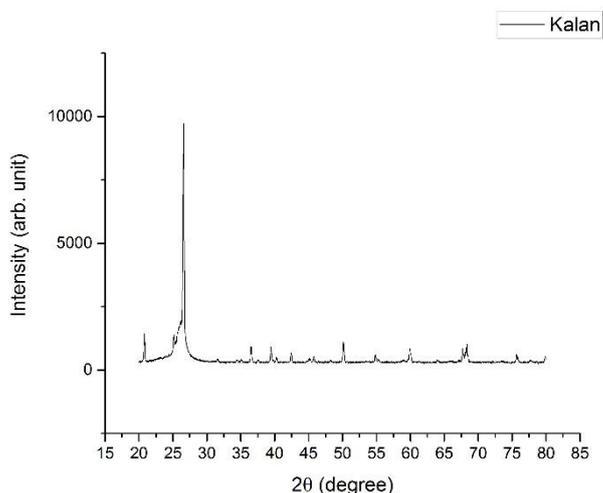
Dari Tabel 6 ditunjukkan bahwa kandungan uranium terbanyak berasal dari sampel Eko Remaja, dan nilainya cukup berbeda dibanding dengan sampel lainnya. Nilai terendah kandungan uraniumnya berasal dari sampel Tor Siandulimat, Sumatra Utara. Data-data ini dipakai sebagai *fingerprint* bahan nuklir yang berupa batuan mineral uranium.

#### d. Analisis fasa dan kristalografi batuan mineral uranium dengan menggunakan XRD

Secara alami mineral uranium terdapat di dalam kerak bumi dan perairan dengan kadar kurang lebih 2.7 ppm. Bentuk uranium dalam mineral adalah tetravalen (bervalensi 4) atau disebut sebagai mineral primer dan dalam bentuk heksavalen (bervalensi 6) atau disebut sebagai mineral sekunder. Mineral utama dari uranium adalah uraninite dan beberapa mineral yang terkenal adalah: Pitch blende  $\sim (\text{UO}_2)_x(\text{UO}_3)_y$ , coffinite  $\sim \text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x-6}$ , branmevite  $\sim (\text{U,Ca, Fe, Th, Y})_3\text{Ti}_6\text{O}_{16}$ , lyuyamunite  $\sim \text{CaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{U}_2\text{O}_5 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ,

cornotite ~  $K_2O \cdot 2UO_3 \cdot U_2O_5 \cdot 3H_2O$ , dan automite ~  $CaO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 8H_2O$ . Mineral yang layak ditambang disebut sebagai bijih, dengan kadar antara 0.3 – 10 %, tetapi yang paling umum adalah berkadar di bawah 1%.

Hasil analisis yang diperoleh untuk batuan mineral uranium dari dari sampel Eko Remaja ditunjukkan dalam Gambar 4 dan Tabel 7.



Gambar 4. Diffraction pattern hasil analisis XRD pada sampel Eko Remaja

Tabel 7. Hasil analisis fasa dan kristalografi sampel Eko Remaja

Phase contents: uraninite, gummite

Reference code:	96-900-9667	00-029-0701
Compound name:	Quartz	Iron Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide
Empirical formula:	Si <sub>3.00</sub> O <sub>6.00</sub>	H <sub>8</sub> Mg <sub>6</sub> O <sub>18</sub> Si <sub>4</sub>
Chemical formula:	Si <sub>3.00</sub> O <sub>6.00</sub>	( Mg , Fe ) <sub>6</sub> ( Si , Al ) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ( OH ) <sub>8</sub>
Crystallographic parameters		
Crystal system:	Hexagonal	Monoclinic
Space group:	P 31 2 1	C2/m
a (Å):	4.9160	5.3600
b (Å):	4.9160	9.2800
c (Å):	5.4090	14.2000
Alpha (°):	90	90
Beta (°):	90	97.15
Gamma (°):	120	90
Calculated density (g/cm <sup>3</sup> ):	2.64	2.95
Volume of cell (Å <sup>3</sup> ):	113.21	700.83
Z:	3	2

Hasil analisis untuk semua sampel dirangkum dan dikumpulkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Rangkuman hasil analisis fasa untuk semua sampel

	Eko Remaja	Sungai Marta	Boteng, Mamuju	Tor Siandulimat, Sumatra Utara
Quartz	✓	✓	✓	✓
Iron Magnesium Aluminum Silicate Hydroxide	✓			
Potassium Aluminum Silicate		✓		
Cristobalite			✓	
Quartz Low			✓	
Silicon Oxide			✓	
Calcite			✓	
Hexapotassium Carbonylpentachloroosmate(III) Tetrakis(tricarbonyltrichloroosmate(II))				✓
Clinoenstatite, titanian aluminian				✓

## KESIMPULAN

Dari kegiatan identifikasi dan *fingerprint* bahan nuklir tahun 2016 diperoleh kumpulan data karakteristik yang dapat digunakan sebagai *fingerprint* bahan nuklir berupa batuan mineral uranium. Kumpulan data tersebut dapat dipakai sebagai langkah awal pengembangan perpustakaan nasional forensik nuklir di Indonesia. Selain kumpulan data karakteristik *fingerprint*, dari kegiatan ini juga diperoleh metoda yang dapat dipakai sebagai bahan masukan untuk membuat SOP analisis bahan nuklir berupa batuan mineral uranium.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Batan, Rincian Tugas Unit Kerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional, Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 21 Tahun 2014, Jakarta, Tahun 2014.
2. *International Conference on Nuclear Security: Commitments & Action*, Vienna, Austria, 5-9 December 2016.
3. *IAEA Nuclear Security Series No. 2-G (Rev. 1), Implementing Guide, Nuclear Forensics in Support of Investigations*, IAEA Vienna, 2015.
4. *IAEA nuclear security series N. XX, NST018*, Februari 2013.

5. Rahmat Iswanto, Kumpulan Laporan Hasil Penelitian Tahun 2006, Analisis Petrografi terhadap Contoh Batuan dari Daerah Kawat Mahakan Hulu Kalimantan Timur, PPGN/03/P/010/2006, ISSBN. 978-979-99141-2-5.
6. Standar Operasional Prosedur Pengujian Unsur di dalam Larutan menggunakan Alat ICP-AES, SOP 014.003/BN 03 03/BBN 3.5, PTBBN-BATAN 2015.
7. Standar Operasional Prosedur Validasi Metoda Analisis Unsur di dalam larutan menggunakan Alat ICP-AES Plasma 40, SOP 016.003/BN 03 03/BBN 3.5, PTBBN-BATAN 2015.
8. Standar Operasional Prosedur Pengoperasian Spektrometer Gamma Geniw 2000, SOP 007.003/PL 00 01/BBN 3.5, PTBBN-BATAN 2015.
9. Standar Operasional Prosedur Pengoperasian dan Perawatan Alat Spektrometer Alpha, SOP 049.003/BN 02 06/BBN 3.5, PTBBN-BATAN 2015.
10. Standar Operasional Prosedur Pengoperasian dan Perawatan XRF (Quant,x), SOP 011.003/PL 00 01/BBN 3.5, PTBBN-BATAN 2015.
11. Standar Operasional Prosedur Pengoperasian Alat XRD, SOP 022.003/PL 00 01/BBN 2.3, PTBBN-BATAN 2015.