

# BAHAN GALIAN URANIUM DAN PROSPEK PENGEMBANGANNYA SEBAGAI SALAH SATU SUMBER ENERGI ALTERNATIF DIMASA MENDATANG

Oleh: Arifudin Idris

## PENDAHULUAN

Lepas dari pernyataan para ahli bahwa krisis energi dunia belum terlalu mengkhawatirkan, tetapi bila pemecahannya belum ditemukan maka masalah energi yang kita hadapi sekarang ini makin lama makin berkembang dan suatu saat akan meledak menjadi "krisis". Di Indonesia diperkirakan 98% pengadaan energi domestik berasal dari sektor minyak dan gas bumi. Sesuai dengan proyeksi tahun 2000-an, struktur ini diperkirakan tidak akan mengalami pergeseran, dimana 90% pengadaan energi tetap akan dipenuhi oleh minyak dan gas bumi. Peranan batubara berkurang dengan ditemukannya ladang-ladang minyak baru, dan di masa mendatang peranan batubara mungkin menjadi lebih penting apabila harga minyak bumi meningkat (Soemarno, 1975). Sekalipun demikian, persediaan bahan bakar fosil ini makin lama makin menipis dan harganya pun semakin meningkat sehingga dunia akan terancam kekurangan sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan.

Secara umum dikatakan bahwa tenaga nuklir akan memberikan harapan besar sebagai sumber tenaga terutama bagi tenaga listrik. Selain itu permintaan mineral radioaktif untuk kebutuhan lain seperti untuk dunia kedokteran, pertanian, dan sebagainya

menunjukkan peningkatan. Untuk menanggulangi masalah ini, maka permasalahan mendasar adalah bagaimana menemukan sumber-sumber mineral radioaktif di Indonesia yang sampai sekarang baru sampai pada tahap penyelidikan pendahuluan atau prospeksi. Salah satu mineral radioaktif penting adalah uranium.

Untuk memahami lebih jauh mengenai bahan galian radioaktif tersebut, tulisan berikut akan membahas bagaimana karakteristik mineralogis, tipe endapan dan bagaimana prospek pengembangannya di masa-masa mendatang, khususnya di Indonesia.

## MINERALOGI DAN TIPE ENDAPAN

Uranium adalah unsur yang memiliki simbol kimia U yang memancarkan radiasi sinar alpha ( $\alpha$ ), sinar beta ( $\beta$ ) dan sinar gamma ( $\gamma$ ), bersifat metalik, berwarna putih perak dan berkilap logam (metal). Mineral-mineral yang mengandung uranium pada dasarnya terbagi 2 kelompok yaitu mineral primer dan mineral sekunder. Mineral primer antara lain pitchblende dan uraninite ( $UO_2$ ), brannerite ( $U, Ca, Fe, Y, Th, Ti_3$ ),<sub>16</sub> dan coffinite ( $U(Si, H_4)O_4$ ). Mineral-mineral uranium primer lainnya termasuk nama-nama; betafite, euxenite, dan samarskite. Sedangkan mineral sekunder antara lain carnotite

( $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$ ), tyuyamunite, torbernite atau autunite. Endapan uranium ekonomis umumnya terdapat dalam bentuk mineral uraninite ( $UO_2$ ) dan pitchblende baik dalam jenis endapan primer maupun endapan sekunder. Selengkapnya mineral-mineral yang mengandung unsur uranium terlihat pada Tabel 1. Di Indonesia, endapan uranium terdapat di Rirang-Tanah Merah (Kalimantan Barat), antara lain dalam bentuk mineral uraninite dan monazite pada *host rock* kuarsit dengan radiometri 3.000-4.600 c/s. Pada daerah Eko Remaja (Kalimantan Barat) mineral radioaktif berasosiasi antara lain dengan mineral uraninite, monazite, dan zircon, yang terdapat dalam *host rock* sekis serisit dengan radiometri 5.000-10.000, serisit biotit, kuarsit biotit, kuarsit biotit andalusit dan sebagainya.

Menurut Dahlkamp (1989), tipe endapan uranium meliputi *unconformity contact deposits*, *sub-unconformity epimetamorphic deposits (strata-structure bound in Late Proterozoic metasediment)*, *vein deposits*, *sandstone deposits*, *collapse breccia pipe deposits*, *surficial deposits*, *quartz pebble conglomerate deposits (Lower Proterozoic)*, *breccia complex deposits*, *intrusive deposits*, *phosphorite deposits*, *volcanic deposits*, *metasomatic deposits*, *synmetamorphic deposits (stratiform U disseminations in unal-*

tered metasediments and metavolcaniclastics), lignite deposits, black shale deposits. Tabel 2 menunjukkan rangking ekonomi masa lalu (*past*) dan masa mendatang (*future*) dari tipe-tipe endapan uranium berdasarkan tingkat

produksi WOCA (*World Outside the Centrally planned economy Area*). Terlihat 6 tipe endapan yang sangat potensial dan direkomendasi untuk serius dilakukan eksplorasi. Empat (4) tipe endapan, disamping mengandung

uranium, juga mengandung mineral lain sebagai *co-product* atau *by-product*, sedangkan 5 tipe endapan terakhir, berproduksi di masa lalu atau berpeluang berproduksi untuk masa mendatang.

**Tabel 1. Mineral-mineral yang mengandung U dengan rumus kimianya (Jensen & Bateman, 1981)**

MINERAL	RUMUS KIMIA	MINERAL	RUMUS KIMIA
Ampangabeite	$(Y, Er, U, Ca, Th)_2(Cb, Ta, Fe, Ti)_7O_{16}$	Liebigite	$Ca_2U(CO_3)_4 \cdot 10H_2O$
Bassetite	<i>Ferrous uranyl phosphate</i>	Rauvite	$CaU_2V_2O_{36} \cdot 20H_2O$
Bacquerelite	$2UO_3 \cdot 3H_2O$	Rutherfordine	$(UO_2)(CO_3)$
Brannerite	$(U, Ca, Fe, Y, Th)_3Ti_5$	Samarskite	$(Ca, Pb, Y, U)(Cb, Ta, Ti, Fe)_2O_8$
Carnotite	$K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O$	Soddyite	$U_5Si_2O_{19} \cdot 6H_2O$
Clarkeite	$UO_3 \cdot nH_2O$	Uraninite	$UO_2$
Coffinite	$U(Si_3H_7)O_4$	Uranophane	$CaU_2O_3Si_2O_8 \cdot 7H_2O$
Euxinite	$(Y, Cu, Ca, U, Th)(Cb, Ta, Ti)_2O_8$	Uranothorite	$(Th, U)(SiO_4)$
Formanite	$(U, Zr, Th, Ca)(Ta, Cb, Ti)_4O_4$	Uvanite	$U_2V_8O_{21} \cdot 15H_2O$
Gummite	$UO_3 \cdot nH_2O$	Voglite	$Ca_2CuU(CO_3)_5 \cdot 6H_2O$
Lathinite	$2UO_2 \cdot 7H_2O$	Walpurgite	$Bi_4(UO_2)(AsO_4)_3 \cdot 3H_2O$
Kasolite	$Pb_2U_2O_4Si_2O_8 \cdot H_2O$	Zippeite	$(UO_2)_2 \cdot 5O_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$

**Tabel 2. Tipe endapan uranium dan rangking ekonominya untuk masa lalu dan masa mendatang berdasarkan WOCA production (Dahlkamp, 1989).**

TIPE ENDAPAN	RANGKING EKONOMI	
	FUTURE	PAST
<b>In Production</b>		
1. Unconformity contact deposits.	1	3
2. Sub-unconformity epimetamorphic deposits.	1	2
3. Vein deposits	2	3
4. Sandstone deposits.	2	1
5. Collapse breccia pipe deposits.	3	-
6. Surficial deposits.	3(?)	-
<b>Co-By- Product</b>		
1. Quartz pebble conglomerate deposits (Au).	1 (b)	1
2. Breccia complex deposits (Cu + Au).	3 (c)	-
3. Intrusive deposits (Cu).	3 (b)	2
4. Phosphorite deposits ( $P_2O_5$ ).	3 (b)	3
<b>Possible future or past production</b>		
1. Volcanic deposits.	?	3
2. Metasomatite deposits.	?	3
3. Synmetamorphic.	?	-
4. Lignite deposits.	?	3
5. Black shale deposits.	?	-

**Keterangan :** 1 = High (>20% of WOCA production), 2 = Medium (10-20% of WOCA production), 3 = Low (< 10% of WOCA production). a = Sub-ekonomi, b = By-product, c = Co-product.

**PROSPEK PENGEMBANGAN**

**Sumberdaya Uranium Indonesia**

Menurut NEA/IAEA 1 Januari 1993, sumberdaya uranium Indonesia sebagai berikut;

- Kategori RAR (*Reasonably Assured Resources*);
  - Range harga \$80/kg U atau kurang sebesar 0 metrik ton (tidak dilaporkan).
  - Range harga \$80-130/kg U sebesar 5.420.000 ton uranium.
  - Range harga \$130/kg U atau 5.420.000 ton uranium (jumlah kumulatif).
- Kategori EAR-I (*Estimated Additional Resources-Category I*);
  - Range harga \$80/kg U atau kurang sebesar 0 metrik ton (tidak dilaporkan).
  - Range harga \$80-130/kg U sebesar 2.150.000 ton uranium.
  - Range harga \$130/kg U atau 2.150.000 ton uranium (jumlah kumulatif).

Mengenai sumberdaya uranium kategori RAR dan EAR-I pada range harga \$80/kg U atau kurang, bernilai 0 metrik ton, kemungkinan Indonesia sengaja tidak melaporkannya pada NEA/IAEA dengan alasan rahasia negara (bersifat *confidential*). Begitu pula data sumberdaya kategori EAR-II (*Estimated Additional Resources-Category II*) dan SR (*Speculative Resources*) tidak dilaporkan pada NEA/IAEA. Data rinci mengenai sumberdaya uranium Indonesia memang sampai sekarang masih dirahasiakan dengan alasan politis. Otoritas eksplorasi dan pengolahan bahan galian nuklir termasuk uranium di Indonesia dilakukan oleh PPBGN (Pusat Pengembangan Bahan Galian Nuklir) di bawah naungan BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional). Sehingga data rinci mengenai sumberdaya uranium Indonesia hanya dimiliki oleh PPBGN-BATAN.

Perlu dijelaskan juga, bahwa di Indonesia daerah yang favorabel mengandung uranium seluas ± 535.000 km<sup>2</sup>, diantaranya berlitologi granit, batuan beku asam lainnya, batuan sedimen dan batuan metamorfisme disekitarnya. Dari luas daerah tersebut, baru sekitar 76% yang telah dieksplorasi. Akibat keterbatasan dana, prioritas pengembangan dititikberatkan pada daerah Kalan (Kalimantan Barat), dimana ditemukan cadangan ± 10.000 ton uranium. Karena situasi pasar U yang masih rendah, cebakan tersebut belum ekonomis ditambang (Karyono, 1994). Daerah Kalan (Kalimantan Barat) tersebut terbagi dalam 10 sektor yaitu; Eko Remaja, Remaja Hitam, Lemajung, Kalan Ketungau, Amir Engkala, Rabau, Rirang, Jeronang, Jombang dan tanah Merah. Cadangan (*reserves*) yang dimiliki oleh sektor Eko Remaja dan Remaja Hitam masing-masing sekitar 3.000 ton U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, dengan COG 0,1 % U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. (Caleix, 1995). Begitu pula sektor-sektor lain kelihatannya memiliki prospek yang baik dan masih perlu dilakukan eksplorasi rinci dan kajian studi kelayakan sebelum dilakukan penambangan.

**Permintaan dan Prediksi Kebutuhan**

Salah satu faktor utama yang berperan pada naik-turunnya volume kegiatan eksplorasi adalah perubahan harga pasar uranium. Saat ini perubahan harga pasar uranium sangat dipengaruhi oleh perubahan kapasitas terpasang PLTN yang cenderung meningkat tajam serta persediaan uranium yang ada. Dengan pertumbuhan yang pelan tetapi pasti, diperkirakan PLTN dunia pada tahun 2010 akan terdapat kenaikan kapasitas 37% dari 334 Gwe menjadi 446 Gwe yang akan membutuhkan 75.700 ton U. Secara kumulatif, kebutuhan U dunia pada periode 1993-2010 adalah sekitar 1.185.000 ton U. Padahal kemampuan produksi kumulatif semua negara barat

pada periode tersebut ditaksir hanya 576.300 ton U sehingga diperlukan tambahan kumulatif 609.000 ton U lagi. Perhitungan tersebut didapat dari prediksi defisit tahunan yang mencapai 22.500 ton U pada tahun 1993, 27.300 ton U pada tahun 2000-an dan lebih dari 50.000 ton U pada tahun 2010 (Karyono, 1994). Kekurangan tersebut diharapkan dapat dipenuhi dari produksi uranium Eropa Timur dan Asia serta dari beberapa sumber alternatif seperti penarikan kelebihan cadangan penyangga, dan hasil konversi HEU (*High Enriched Uranium*) dari bekas kepala senjata nuklir.

Khusus Indonesia, merencanakan membangun NPP (*Nuclear Power Plants*) pada tahun 2000-an. Hal itu harus diikuti dengan *monitoring* yang kontinyu tentang supply, demand dan pasar uranium dunia. Bila rencana itu terealisasi, maka pada tahun 2004-2046 Indonesia membutuhkan 38.520 ton uranium alam sebagai membangkitkan listrik kapasitas 7.200 Mwe (Wirakusumah, 1995), lihat Tabel 3. Mengantisipasi kondisi di atas, pengembangan uranium yang terus menerus perlu dilakukan guna mengisi kebutuhan raw material untuk pertumbuhan industri NPP di masa mendatang. Dalam hal ini, Indonesia harus memiliki semangat yang tinggi untuk meningkatkan status sumberdaya uranium alamnya, sehingga potensi tersebut mampu mendorong program NPP tersebut (Wirakusumah, 1995). Walaupun cebakan uranium Kalan (Kalimantan Barat) belum menguntungkan untuk diproduksi karena biayanya masih lebih tinggi daripada harga jualnya saat ini, namun untuk jangka panjang serta dengan pemikiran secara strategis, eksplorasi uranium terus dilakukan disamping mengembangkan cebakan-cebakan menarik yang telah ditemukan (Karyono, 1994).

**Tabel 3. Kebutuhan uranium alam tiap tahun (ton) untuk perencanaan NPP (Nuclear Power Plant) di Indonesia (2004-2046). Terlihat kebutuhan kumulatifnya sebesar 38.520 ton U (Wirakusumah, 1995).**

YEAR	NPP	MW	RELOAD (TON/YEAR)											
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2034	
2004	I	600		107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
2006	II	600				107	107	107	107	107	107	107	107	107
2008	III	1200						214	214	214	214	214	214	214
2010	IV	1200								214	214	214	214	214
2012	V	1200												214
2014	VI	1200												214
2016	VII	1200												214
		7200	0	107	107	214	214	428	428	642	642	856	1.284	
<b>CUMM. FUEL DEMANDS :</b>				107	214	428	642	1070	1498	2140	2782	3638	29.746	

2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	Feed/NPP 30/yr
107	107	3.210										
214	214	214	3.210									
214	214	214	214	214	214	6.420						
214	214	214	214	214	214	214	214	6.420				
214	214	214	214	214	214	214	214	214	214	6.420		
214	214	214	214	214	214	214	214	214	214	214	214	6.420
1.177	1.777	1.070	1.070	856	856	642	642	428	428	214	214	38.520
30.923	32100	33170	34.240	35096	35952	36594	37.236	37.664	38.092	38.306	38.520	

## STRATEGI PENGEMBANGAN

### Melibatkan Multi Keahlian

Energi nuklir tidak diragukan lagi akan memainkan peranan penting dalam permintaan energi dunia masa depan. Hal ini menjadikan uranium menjadi sumber energi yang penting. Produksi uranium tahunan sekitar 40.000 ton. Banyak negara-negara berkembang tertarik melakukan

eksploitasi sumberdaya uraniumnya, untuk kebutuhan dalam negeri atau untuk ekspor (Ajuria, 1987). Kesuksesan pelaksanaan proyek produksi konsentrat uranium membutuhkan pengetahuan yang baik tentang;

- Teknologi tentang eksplorasi uranium, pengembangan cebakan bijih, estimasi cadangan bijih, penambangan dan pengolahan

(processing).

- Metode-metode dan kriteria-kriteria evaluasi proyek.
- Manajemen proyek dan standar industri dalam pengembangan proyek penambangan- metalurgi.

Tiga komponen tersebut adalah sama penting; kekurangan dari salah satunya akan membawa pengaruh pada

proyek secara keseluruhan dan pada kasus yang ekstrim, akan membawa kegagalan. Teknik yang baik membutuhkan penyiapan studi kelayakan awal sampai studi kelayakan final serta menyiapkan proposal proyek. Olehnya itu, perlu membuat evaluasi secara obyektif sebelum memutuskan untuk investasi. Proyek yang disetujui perlu mempersiapkan keahlian secara teknik. Hal lain seperti konsep yang realistis mengenai kebijakan, waktu dan modal investasi, dibutuhkan untuk merealisasikan proyek tersebut.

Beberapa disiplin ilmu lain yang dibutuhkan dalam pengembangan proyek uranium diantaranya; kimia analitik, mineralogi, petrologi, proteksi radiasi, teknik nuklir, teknik lingkungan, teknik mesin, teknik sipil, mekanika tanah, hidrologi dan meteorologi.

### Manajemen dan Evaluasi

Keahlian teknik tidak dapat menjamin kesuksesan proyek. Manajemen proyek yang efektif adalah sangat penting. "Manajemen proyek adalah perencanaan, pengorganisasian, pengarahan dan pengawasan sumberdaya perusahaan untuk tujuan jangka pendek" (Kerzner, 1984 *vide* Ajuria, 1987). Jadi, manajer proyek dan tim manajemen proyek, mempunyai tugas-tugas utama sebagai berikut;

- Pendefinisian proyek (*project definition*).
- Perencanaan proyek (*project planning*).
- Pengarahan proyek (*project direction*).
- Peninjauan dan pengawasan proyek (*project monitoring and controlling*).

Evaluasi proyek juga merupakan komponen penting dalam pengembangan proyek. Sebelum beberapa sumberdaya penting, keuangan dan sebagainya digunakan, maka harus memiliki jaminan yang

beralasan bahwa proyek tersebut akan berhasil dengan *positive net benefit*. Jumlah investasi dan biaya-biaya operasi harus dihitung dan dibandingkan dengan keuntungan proyek. Evaluasi finansial akan lebih disukai penggunaan metode discounting dan analisis sensitivitas. Pada kondisi tertentu, dalam negeri juga perlu memperhitungkan kriteria non-ekonomi seperti kondisi sosial dan politik. Perlu juga diketahui, keberadaan suatu proyek juga mempunyai keuntungan non-ekonomi.

Suatu proyek terdiri dari seri kegiatan yang dilakukan untuk mencapai tujuan tertentu dengan biaya dan waktu tertentu pula. Setelah ditemukan endapan bijih uranium, proyek pabrik pengolahan *bijih (ore processing plant)* perlu dipertimbangkan dan melakukan fase-fase utama seperti; fase pra investasi, fase investasi (implementasi), fase operasional dan fase post-operasional.

### Penutup

Sumberdaya *in situ* uranium Indonesia diperkirakan; RAR 5.520 metrik ton U dan EAR-I 2.150 metrik ton U, belum termasuk range harga \$ 80/kg atau kurang (untuk RAR dan EAR-I) serta sumberdaya EAR-II dan SR yang masih dirahasiakan oleh negara. Daerah Kalan (Kalbar) yang terdiri dari 10 sektor mineralisasi uranium merupakan prioritas pengembangan uranium di Indonesia karena memiliki sumberdaya yang banyak dan kadar yang baik (rata-rata 0,1%  $U_3O_8$ ). Prediksi kebutuhan uranium dunia pada masa-masa mendatang akan meningkat tajam. PLTN dunia pada tahun 2010 diperkirakan membutuhkan 75.700 ton U untuk memenuhi listrik 446 Gwe, padahal produksi kumulatif diperkirakan hanya 576.300 ton, sehingga diperlukan tambahan kumulatif 609.000 ton. Dengan demikian, eksplorasi dan prospek pengembangan uranium secara terpadu

dan berkesinambungan perlu dilakukan terus.

### REFERENSI

1. Ajuria, S., 1987., Development of Projects for The Production of Uranium Concentrates; An Overview., *Proceedings of A Technical Committee Meeting.*, IAEA Vienna., Austria.
2. Caleix, C., 1995., *Kalan Uranium Deposit Profitability Expectation.*, *Proceedings : Meeting On Uranium Exploration, Mining and Extraction.*, Nuclear Minerals Development Centre, IAEA, Vienna, Austria.
3. Dahlkamp, F.J., 1989., Classification Scheme for Uranium Ore Deposits, A State of Art Review., *Proceedings of A Technical Committee Meeting on Metallogenesis of Uranium Deposits.*, IAEA Vienna., Austria.
4. Jensen, M., Bateman, A.M., 1981., *Economic Mineral Deposits.*, 3th Edition (Revised Printing), John Wiley & Sons., New York.
5. Karyono, H.S., 1994., Situasi dan Prediksi Ketersediaan Uranium di Dunia; Pengaruhnya pada Prospek Kegiatan Eksplorasi., *Prosiding Seminar Teknik Dalam Eksplorasi Sumberdaya Energi.*, PPBGN-BATAN., Jakarta 27 Oktober 1994.
6. Soemarno, S., 1975., Uranium dan Thorium., *Bulletin Potensi Sumber Daya Ekonomi Energi No.5.*, Proyek Sumber Daya Ekonomi, Lembaga Geologi dan Pertambangan Nasional-LIPI., Bandung.
7. Wirakusumah, W., 1995., Appraisal Techniques for Indonesia's Uranium Resources., *Proceedings Meeting On Uranium Exploration, Mining and Extraction.*, Nuclear Minerals Development Centre, IAEA, Vienna, Austria.

*Arifudin Idrus, Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik UGM.*