

## PENGAWASAN ZIRKON DI INDONESIA

**Moekhamad Alfiyan**

*Badan Pengawas Tenaga Nuklir*

*Email: m.alfiyan@bapeten.go.id*

### ABSTRAK

Sumber daya mineral zirkon banyak terdapat di Indonesia, khususnya di Kalimantan, Sumatera dan Bangka Belitung, sedangkan hasil olahan zirkon banyak dimanfaatkan oleh Industri di Pulau Jawa, antara lain: industri keramik, refraktori, dan pewarna. Zirkon merupakan material yang mendapat perhatian khusus oleh IAEA karena zirkon menyimpan potensi bahaya radiologik. Penyusunan makalah ini dimaksudkan untuk memberikan masukan pengembangan pengawasan keselamatan radiasi di industri zirkon. Makalah ini disusun berdasarkan data sekunder yang diperoleh dari: pelaksanaan kajian sebelumnya, IAEA, Kementerian Perindustrian, Kementerian Perdagangan dan pustaka ilmiah terkait mineral zirkon. Dari aspek radiologik, hasil kajian BAPETEN menunjukkan bahwa konsentrasi aktivitas radionuklida deret U dan Th dalam zirkon melampaui nilai batas yang membutuhkan pengawasan. Konsentrasi Aktivitas U-238 dan Th-232 di dalam Zirkon mencapai 3,08 Bq/g dan 1,04 Bq/g. Fakta tersebut sesuai dengan rekomendasi IAEA dalam dokumen SRS-51. Pengawasan keselamatan radiasi terhadap zirkon telah diakomodasi dalam Perka BAPETEN No 16 tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material* (TENORM). Penghasil Zirkon dapat melakukan pengolahan terhadap zirkon menjadi produk lain dengan menyampaikan laporan kepada BAPETEN. Selain itu, pengawasan keselamatan radiasi terhadap zirkon juga memerlukan koordinasi antara BAPETEN dengan beberapa instansi terkait, antara lain: Kementerian ESDM, Kementerian Perdagangan, Kementerian Perindustrian dan Pemerintah Daerah sedemikian rupa sehingga dapat menjawab berbagai tantangan dan persoalan zirkon nasional, mewujudkan keselamatan radiasi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup, serta dapat meningkatkan produktivitas industri Zirkon di Indonesia.

Kata Kunci: Zirkon, Pengawasan Keselamatan Radiasi, BAPETEN

### ABSTRACT

*Zircon mineral resources are common in Indonesia, especially in Kalimantan, Sumatra and Bangka Belitung, while the processed zircon widely used by industry in Java, such as: industrial ceramics, refractories, and pigmen. Zircon is a material that considered by the IAEA because zircon contain radiological hazard. The preparation of this paper is intended to provide input in the development of regulatory control for radiation safety in zircon industry. This paper is based on secondary data from the previous studies, the IAEA, the Ministry of Industry, Ministry of Commerce and the scientific literature related to the mineral zircon. From the aspect of radiological, BAPETEN assessment results showed that the activity concentration of radionuclides series of U and Th in zircon exceeded limit values that require a control. Activity concentration of U-238 and Th-232 in Zircon reached 3.08 Bq /g and 1.04 Bq /g, respectively. The results in accordance with the document IAEA SRS-51. Radiation safety for zircon has been regulated in BCR No 16 year 2013 on Radiation Safety in Storage of Technologically Enhanced Naturally occurring Radioactive Material (TENORM). Zircon generator can perform the processing of zircon into other products through submit a report to BAPETEN. In addition, the safety regulatory of radiation on zircon also require coordination between BAPETEN with several agencies, such as: the Ministry of Energy and Mineral Resources, Ministry of Commerce, Ministry of Industry and Local Government in such a way so as to meet the challenges and problems zircon national, realizing the radiation safety of workers, society and the environment, and can increase industrial productivity Zircon in Indonesia*

Key Words: Zircon, Radiation Safety Regulatory, BAPETEN

### PENDAHULUAN

Sumber daya mineral zirkon yang di alam dalam bentuk pasir ( $ZrSiO_4$ ) merupakan salah satu sumber daya mineral yang ditemukan di Indonesia. Pasir zirkon terhampar secara luas di wilayah Kalimantan Tengah dan Kalimantan Barat, dan banyak terdapat di Bangka Belitung sebagai endapan timah place. Mineral zirkon memang kurang populer dibandingkan batu bara ataupun minyak dan gas bumi yang telah banyak dikenal sebagai sumber energi andalan. Tanpa disadari, keberadaan pasir zirkon cukup berarti

dan tidak kalah pentingnya dengan mineral lain, baik bagi masyarakat setempat, industri maupun perekonomian nasional. Zirkon banyak digunakan di industri keramik, refraktori, pewarna karena zirkon mempunyai keistimewaan sifat kimia dan fisika dibandingkan bahan lain. Kelompok industri tersebut sangat banyak jumlahnya di Indonesia dan terus berkembang sehingga kebutuhan zirkon akan selalu bertahan atau bahkan meningkat. Maraknya industri yang memanfaatkan zirkon didunia mendorong eksploitasi zirkon secara besar-besaran, mulai dari penambangan berskala besar sampai dengan

penambangan rakyat. Sebagai upaya untuk melindungi zirkon nasional dari kelangkaan, maka pemerintah Indonesia mengatur kegiatan industri pertambangan zirkon. Usaha pemerintah tersebut dicerminkan dalam peraturan menteri energi dan sumber daya mineral No.7 Tahun 2012 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral Melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral.

Terlepas dari permasalahan bisnis di atas, ternyata zirkon juga merupakan material yang mendapat perhatian khusus dari IAEA (*International Atomic Energy Agency*) /badan tenaga atom dunia. IAEA secara khusus menerbitkan dokumen mengenai zirkon, yaitu *Safety Report Series* (SRS. No. 51). Dokumen IAEA tersebut memuat dengan lengkap segala hal terkait material zirkon, termasuk pula keselamatan radiasi dan perkembangan pemanfaatannya di beberapa negara anggota IAEA. Perlu diketahui pula, zirkon memang erat dengan energi atom yang menjadi lingkup tugas IAEA karena zirkon banyak dimanfaatkan untuk industri nuklir. Zirkon banyak digunakan sebagai kelongsong bahan bakar reaktor nuklir karena zirkon mempunyai ketahanan termal yang sangat tinggi sehingga dapat menahan panas hasil reaksi fisi.

Potensi radiologik dalam pasir zirkon berhubungan dengan asal pasir zirkon yang merupakan material dari dalam bumi. Sumber radiasi alam tersebut di bidang ketenaganukliran dikenal dengan nama sumber radiasi primordial/terrestrial dengan jenis radionuklida yang terkandung adalah radionuklida dari deret Uranium dan Thorium. Tingkat radiologik pasir zirkon bergantung pada konsentrasi aktivitas radionuklida Uranium dan Thorium yang terkandung didalamnya. Kedua radionuklida merupakan sumber radiasi internal, yaitu sumber radiasi yang membahayakan bagi manusia apabila masuk kedalam tubuh melalui jalur pernafasan ataupun makanan. Umur paro kedua radionuklida tersebut sangat panjang, bisa mencapai ribuan juta tahun sehingga cenderung persisten. Waktu paro yang panjang merupakan variable penting lain selain tingkat konsentrasi aktivitas dalam memperkirakan potensi radiologik suatu material.

Sebagai negara anggota IAEA, Indonesia memiliki konsekuensi mempertimbangkan dan menerapkan rekomendasi yang ditetapkan oleh IAEA dengan tidak melupakan keselarasannya dengan perangkat hukum nasional. Dengan diterbitkannya rekomendasi internasional mengenai pemanfaatan zirkon, maka, dengan sendirinya segala bentuk kegiatan yang memanfaatkan zirkon wajib memperhatikan aspek keselamatan radiasi.

Makalah ini menyajikan aspek radiologik dalam pemanfaatan zirkon berikut pengawasan keselamatan radiasi yang diberlakukannya. Penyusunan makalah ini dimaksudkan untuk memberikan informasi kepada masyarakat, industri, akademisi, dll tentang potensi radiologik dalam pasir zirkon dan hasil olahannya serta kendali pengawasan keselamatan radiasi sebagai upaya mewujudkan keselamatan terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup.

## METODOLOGI

Makalah ini merupakan kajian pustaka terkait dokumen peraturan yang diterbitkan oleh IAEA, Kementerian Perindustrian, Kementerian Perdagangan, peraturan perundang-undangan nasional dan pustaka ilmiah lain terkait mineral zirkon. Melalui data-data tersebut dilakukan analisis untuk mendiskripsikan pengembangan pengawasan keselamatan radiasi terhadap industri zirkon di Indonesia secara terpadu, efektif dan efisien.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemanfaatan dan *Cash Flow* Zirkon Nasional

Pemanfaatan zirkon di Indonesia cukup berkembang di beberapa sektor industri, antara lain: industri keramik dan gelas PSZ (*Partially Stabilized Zirconia*), dan tepung zirkon (*micronized zircon*), kimia zirconium, bata tahan api (*refractory*) dan pasir cetak. Penggunaan *micronized zircon* dan bubuk zirkon dalam produk keramik hampir separuh dari konsumsi zirkon. Tepung zirkon pada keramik terutama berfungsi sebagai glasir opak (*opacifier glazes*) untuk keperluan rumah tangga (*table ware*) dan keramik ubin (*tile ceramic*). Dalam industri gelas, zirkonia (*fused zircon*) digunakan untuk menghasilkan gelas-gelas yang berkomposisi khusus, seperti gelas optik, gelas fiber, gelas TV berwarna, dan lain-lain. Zirkon banyak pula digunakan dalam industri logam untuk memanfaatkan sifat ketahanan panas yang baik dari zirkon. Tepung zirkon digunakan untuk melapisi logam (baja dan besi tuang), terutama dalam proses pelapisan secara kering untuk menghasilkan produk peralatan dapur dan kamar mandi, bata tahan api yang digunakan untuk melapisi tungku peleburan baja dan gelas dan AZ-abrasif (25% zirkonia), terutama digunakan dalam pengerjaan bahan-bahan yang berasal dari logam, seperti: steel billet, automotif, dan lain-lain. Di bidang ketenaganukliran, zirkon digunakan sebagai bahan kelongsong bahan bakar reaktor nuklir karena mampu menahan panas yang sangat tinggi dari reaksi fisi yang terjadi di dalam reaktor nuklir. Selain itu,

kandungan U-238 dan Th-232 dalam zirkon dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar reaktor nuklir.

Maraknya industri zirkon di Indonesia, baik industri hulu maupun hilir, sedikit banyak mempengaruhi distribusi zirkon masuk ataupun keluar dari Indonesia. Kebutuhan zirkon nasional sebagian dipenuhi oleh hasil tambang zirkon nasional dan sebagian lagi impor dari negara Malaysia, Australia, Italia, dll. Kebutuhan nasional yang relatif lebih rendah dibandingkan sumber daya mineral zirkon yang ada harus dipenuhi dari negara lain. Dengan kejadian tersebut, mengakibatkan terjadinya defisit nilai zirkon mencapai 4,5 kali. Perlu penelaahan mengapa banyak negara yang menerima impor zirkon dari Indonesia, apakah hanya zirkon yang diperlukan oleh negara asing (zirkon mengandung U-238 dan Th-232 yang berharga).

Peran Permen ESDM No. 7 Tahun 2012 tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral Melalui Kegiatan Pengolahan dan Pemurnian Mineral sangatlah penting untuk mengatasi masalah defisiensi nilai zirkon di atas. Kegiatan pengolahan dan pemurnian zirkon sebagai komoditas mineral non logam wajib memperhatikan hal berikut:

- memiliki sumber daya dan cadangan bijih dalam jumlah besar;
- untuk mendorong peningkatan kapasitas produksi logam di dalam negeri;
- teknologi pengolahan dan/ atau pemurnian sudah pada tahap teruji;
- produk akhir pengolahan dan/atau pemurnian sebagaibahan baku industri untuk kebutuhan dalam negeri;

- produk akhir sampingan hasil pengolahan dan/ ataupun pemurnian untuk bahan baku industri kimia dan pupuk dalam negeri;
- sebagai bahan baku industri strategis dalam negeri yang berbasis mineral;
- memberikan efek ganda baik secara ekonomi dan
  - negara; dan/ atau
  - untuk meningkatkan penerimaan negara.

Parameter kelayakan pengolahan zirkon untuk diolah dan dimurnikan adalah batasan minimum pengolahan. Zirkon dapat diolah/dimurnikan jika kandungan  $Zr+Hf > 99\%$ . Disamping itu, Permen ESDM No. 7 Tahun 2012 juga telah menegaskan bahwa pengolahan zirkon wajib dilakukan di dalam negeri. Kebijakan tersebut untuk memblokir ekspor pasir zirkon yang sudah sering dilakukan investor asing dan penduduk setempat.

#### Aspek Radiologik Zirkon

Survei di pengolah pasir zirkon termasuk survei terhadap kelompok industri hulu. Perhatian awal ditujukan kepada industri hulu karena basis perkembangan zirkon terjadi dibagian hulu. Permasalahan di kelompok industri hilir juga dipengaruhi oleh industri hulu. Pemenuhan suplai zirkon untuk industri hilir sangat bergantung pada kesanggupan penambang/pengolah dalam memenuhi permintaan pengguna zirkon.

Hasil pengukuran laju paparan radiasi di beberapa fase proses produksi diberikan dalam Tabel 1. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa nilai laju paparan di semua fase produksi melampaui nilai batas *action level*, yaitu suatu indikator yang mengisyaratkan suatu material perlu penelaahan lebih lanjut atau tidak.

**Tabel 1. Laju Paparan Radiasi Pasir Zirkon di Setiap Fase Produksi**

	Laju Paparan Radiasi ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	Kadar zirkon
Pasir zirkon	1,2	30-40%
Zirkon keluaran meja goyang	1,5	50%
Zirkon akhir	1,5	64%

Sumber: Laporan Hasil Kajian Efektivitas Operasional Pengawasan FRZR dan Proteksi Radiasi IBN

Laju paparan yang terukur belum bisa memproyeksikan potensi radiologik yang ditimbulkan oleh pasir zirkon terhadap manusia karena laju paparan menunjukkan besar paparan radiasi eksternal, sedangkan untuk radionuklida alam, potensi bahaya radiasi internal lebih penting dibandingkan radiasi eksternal. Bahaya radiasi internal akan terjadi jika radionuklida

masuk (*intake*) ke dalam tubuh melalui jalur pernafasan ataupun pencernaan. Efek radiasi internal dari zirkon sangat tinggi karena jenis nuklida yang dikandung adalah uranium dan thorium dengan umur paro mencapai ratusan juta tahun. Radionuklida yang masuk kedalam tubuh akan memberikan reaksi secara terus menerus selama masih terdeposit dalam tubuh.

Radionuklida akan hilang dari tubuh melalui dua kemungkinan, yaitu: bersamaan dengan ekskresi manusia atau mengalami peluruhan. Tingkat radiasi internal diindikasikan dengan mengukur konsentrasi aktivitas radionuklida dalam zirkon. Pengambilan sampel zirkon pada setiap fase

proses dilakukan untuk mengetahui perbedaan konsentrasi aktivitas U dan Th di dalam zirkon pada setiap fase proses. Hasil pengukuran konsentrasi aktivitas beberapa radionuklida dalam sampel zirkon ditampilkan dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Konsentrasi Aktivitas Radionuklida dalam Sampel Zirkon**

	Koensentrasi Aktivitas (Bq/Kg)		
	U-238	Ra-226	Th-232
Pasir zirkon	2703±605	3245±180	1042±897
Zirkon keluaran meja goyang	2738±569	3099±173	634±46
Zirkon akhir	3081±675	3177±178	540±43

Sumber: Laporan Hasil Kajian Efektivitas Operasional Pengawasan FRZR dan Proteksi Radiasi IBN

Hasil pengukuran konsentrasi aktivitas radionuklida di atas memenuhi hasil penelitian yang dilakukan oleh IAEA dalam dokumen SRS 51. Rata-rata zirkon mengandung konsentrasi aktivitas radionuklida deret U-238 dan Th-232 masing-masing pada kisaran 2-4 Bq/g dan 0,4-1 Bq/g, sedangkan dalam Zirkonia masing-masing pada kisaran 3-13 Bq/g dan 0,1-2,6 Bq/g. Berdasarkan data diatas pula, maka kita mengetahui bahwa konsentrasi aktivitas U-238 dan Ra-226 dalam semua sampel zirkon melampaui nilai batas pengawasan yang ditetapkan, baik oleh IAEA maupun peraturan perundang-undangan nasional. BAPETEN telah menetapkan bahwa radionuklida alam dibebaskan dari pengawasan apabila konsentarsi aktivitas radionuklida tersebut tidak lebih dari 1 Bq/gram. Justifikasi dapat diberikan bahwa zirkon merupakan material yang perlu perhatian untuk menjadi obyek pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir.

**Pengawasan Keselamatan Radiasi di Industri Zirkon**

Pasir zirkon atau hasil olahannya merupakan bagian dari TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*), yaitu radionuklida alam yang mengalami peningkatan konsentrasi aktivitas akibat campur tangan teknologi atau kegiatan manusia. Radionuklida alam akan selalu dalam kondisi seimbang apabila tidak ada faktor lain. Pada keadaan seimbang tersebut, konsentrasi aktivitas setiap radionuklida anggota deret induk dan anaknya akan sama. Aktivitas manusia, semacam eksploitasi, akan mengakibatkan terangkatnya radionuklida ke permukaan dan mengalami perluasan permukaan sehingga radionuklida akan terkonsentrat. Demikian pula dengan pasir zirkon, yang akibat

kegiatan penambangan akan membawa U-238 ataupun Th-232 bersama-sama hasil tambang.

Persyaratan umum keselamatan radiasi dari IAEA, yaitu: GSR part 3 secara tidak langsung menjawab permasalahan pengawasan keselamatan radiasi untuk zirkon. Tinjauan keselamatan radiasi dalam GSR part 3 membedakan pengawasan berdasarkan situasi paparan yang terjadi, yaitu: *plan exposure*, *emergency exposure* dan *existing exposure*. *Plan exposure* (paparan yang sengaja direncanakan direncanakan, yang dalam pemahaman sebelumnya disebut sebagai *practice* atau pemanfaatan), *emergency exposure* (paparan darurat yang merupakan akibat kecelakaan) dan *existing exposure* (paparan yang telah ada) dalam pemahaman sebelumnya merupakan bagian dari intervensi (tindakan untuk menurunkan paparan). *Existing exposure* mencakup situasi paparan radiasi alam, paparan yang ditimbulkan oleh residu zat radioaktif pada masa lampau yang bukan bagian dari pengawasan dan paparan radiasi yang ditimbulkan sebagai sisa paparan darurat. Dengan demikian, NORM dan TENORM yang merupakan sumber radiasi alam pada umumnya dipertimbangkan sebagai *existing exposure*. Namun demikian, paragraf 3.4 GRS part 3 menyatakan bahwa persyaratan keselamatan yang relevan untuk *plan exposure* dapat diberlakukan untuk *existing exposure* apabila konsentrasi radioanuklida alam deret U dan Th melampaui 1 Bq/g serta konsentrasi aktivitas radionuklida K-40 melampaui 10 Bq/g.

Terminologi di atas memberikan kejelasan tindakan pengawasan terhadap zirkon atau kegiatan lain yang melibatkan radionuklida alam. Kegiatan yang melibatkan zirkon lebih tepat dianggap sebagai suatu pemanfaatan (*plan exposure*) yang harus memenuhi semua persyaratan pemanfaatan. Kegiatan yang

melibatkan zirkon dianggap sebagai suatu pemanfaatan atas dasar: karakteristik radiologik zirkon dan fungsi zirkon. IAEA telah memastikan bahwa konsentrasi aktivitas radionuklida dalam zirkon akan selalui melampaui 1 Bq/g dan dipandang tidak wajar ada tindakan untuk menurunkan keradioaktifan/ intervensi dari zirkon karena teknologi untuk mendisosiasi U dan Th dari ikatan zirkon masih sangat langka. Keberadaan zirkon berbeda dengan TENORM lainnya karena zirkon dihasilkan sebagai bahan baku suatu produk.

Secara nasional, pengaturan zirkon yang bersesuaian dengan GSR part 3 di atas adalah Perka BAPETEN No. 16 tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materil*. Zirkon yang banyak dimanfaatkan oleh industri untuk berbagai produk konsumen, seperti: keramik, abrasive, refraktori, pigmen, dll tidak bermaksud untuk memanfaatkan karakteristik radiasi dari kandungan U dan Th di dalam Zirkon tersebut, namun karena pertimbangan teknis dan ekonomi yang sulit untuk memisahkan U dan Th (tidak mendapatkan tindakan intervensi), maka ke dua radionuklida terbawa dalam proses produksi.

Potensi bahaya radiasi atau bahaya lain akan muncul dalam tumpukan bahan baku zirkon, sehingga penyimpanannya perlu mendapatkan izin dari BAPETEN. Untuk mendapatkan izin penyimpanan yang berlaku selama 5 (lima) tahun, pemilik zirkon wajib memenuhi persyaratan izin dan persyaratan keselamatan radiasi selama kegiatan berlangsung. Selama kegiatan pemanfaatan zirkon, pemilik zirkon wajib memperhatikan terimaan dosis pekerja dan masyarakat.

Beberapa hal yang mempengaruhi terimaan dosis tersebut, meliputi: disain fasilitas diupayakan tidak akan mengakibatkan terimaan dosis ke masyarakat sebesar 0,3 mSv/tahun dan perencanaan kerja bagi pekerja. Untuk meminimalisasi terimaan dosis, maka lokasi bangunan penyimpanan zirkon terletak pada lokasi yang tidak mudah dijangkau oleh publik, mengendalikan akses ke fasilitas penyimpanan Zirkon, dan memasang tanda radiasi pada fasilitas penyimpanan Zirkon. Mengingat jalur paparan utama dari radiasi Zirkon adalah interna, maka selama bekerja dengan zirkon, pekerja perlu dilengkapi dengan alat pelindung pernapasan; sarung tangan, sepatu boot pelindung; dan kacamata pelindung.

Setelah mempunyai izin penyimpanan dari BAPETEN, pemanfaatan zirkon sebagai bahan baku proses produksi harus dilaporkan kepada BAPETEN. Laporan yang dimaksud memuat paling sedikit: jenis dan lokasi pemanfaatan; kuantitas atau jumlah Zirkon yang

akan dimanfaatkan; kandungan radioaktivitas dalam Zirkon berdasarkan hasil analisis laboratorium yang terakreditasi; asal Zirkon; dan rencana pengelolaan sisa dan/atau limbah pemanfaatan Zirkon.

Mengingat kompleksitas rantai kegiatan zirkon di Indonesia dan konsekuensi dari otonomi daerah, pengawasan zirkon hanya dapat berlangsung jika dilakukan secara terpadu dan terkoordinatif antar instansi terkait di pusat dan daerah. Peran instansi daerah sebagai pemberi izin penambangan, peran kementerian perindustrian pemilik otoritas operasi industri, peran kementerian perdagangan pemberi izin ekspor impor, peran kementerian ESDM sebagai kuasa izin usaha penambangan mineral di pusat sangat menentukan dalam menciptakan pengawasan keselamatan radiasi di industri zirkon, dari hulu sampai dengan hilir. Kebijakan yang tumpang tindih atau saling melemahkan dapat diminimalisasi dengan koordinasi secara terus menerus dan berkelanjutan dengan tetap mengedepankan kepentingan pekerja, masyarakat dan lingkungan, termasuk pula eksistensi industri zirkon. Pengawasan yang diterapkan hendaknya sedemikian rupa tidak menghambat operasional atau kemajuan industri nasional, namun justru sebaliknya, pengawasan dapat meningkatkan pertumbuhan industri nasional, menciptakan persaingan bisnis yang sehat dan profesional. Pengawasan juga diarahkan untuk mampu mempertahankan dan melindungi sumber daya alam nasional dari kelangkaan atau bahkan kepunahan.

## KESIMPULAN

Kebijakan pengawasan keselamatan radiasi terhadap industri zirkon dapat dipenuhi dengan Perka BAPETEN No. 16 tahun 2013. Kebijakan tersebut telah sesuai dengan GSR part 3 yang memandang Zirkon sebagai *plan exposure*. Selain itu, pengawasan keselamatan radiasi zirkon dapat terwujud melalui koordinasi dengan instansi terkait sedemikian rupa sehingga dapat menjawab berbagai tantangan dan persoalan zirkon nasional, mewujudkan keselamatan radiasi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup, serta dapat meningkatkan produktivitas industri zirkon di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, 2007, SRS No. 51: *Radiation Protection and NORM Residue Management in the Zircon and Zirconia Industries*, Vienna.
2. IAEA, 2011, *Draft Safety Requirements: Radiation Protection and Safety of*

- radiation Sources: International Basic Safety Standards*, Vienna
3. Huda K, Sudarto, Yus Rusdian, 2011, *Peran BAPETEN dalam Pengawasan Zirkon*, Lokakarya Nasional Pengawasan Zirkon-BAPETEN, Jakarta.
  4. Direktorat Jenderal Perdagangan Luar Negeri, 2011, *Kebijakan Ekspor Produk Pertambangan (Bijih Zirkon)*, Lokakarya Nasional Pengawasan Zirkon-BAPETEN, Jakarta.
  5. Direktorat Industri Material Dasar Logam, 2011, *Penggunaan Zirkon Pada Industri*, Lokakarya Nasional Pengawasan Zirkon-BAPETEN, Jakarta.
  6. Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif
  7. Peraturan Pemerintah No. 29 tahun 2008 tentang Perizinan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir
  8. Peraturan Kepala BAPETEN No.9 tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan Yang Berasal Dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*
  9. Peraturan Kepala BAPETEN No.16 tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*
  10. P2STPFRZR-BAPETEN, 2012, Laporan Hasil Kajian Efektivitas Operasional Pengawasan FRZR dan Proteksi Radiasi IBN