

KAJIAN PROSES DAUR ULANG ZAT RADIOAKTIF TERBUNGKUS COBALT-60 'YANG SUDAH TIDAK DIGUNAKAN' UNTUK LOGGING MINYAK DAN BATUBARA

Susilo Widodo¹, Suhaedi Muhammad², Rr.Djarwanti,RPS³

¹Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, Jl. Babarsari, Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta

²Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Gedung B, Kawasan Nuklir Pasar Jumat

³Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, Gedung 11, Kawasan Nuklir Serpong

Email : swidodo@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN PROSES DAUR ULANG ZAT RADIOAKTIF TERBUNGKUS COBALT-60 'YANG SUDAH TIDAK DIGUNAKAN' UNTUK LOGGING MINYAK DAN BATUBARA. Dalam kurun waktu dua puluh tahun terakhir kebutuhan zat radioaktif terbungkus ⁶⁰Co untuk keperluan logging minyak dan batubara masih cukup banyak. Mahalnya harga produk impor zat radioaktif terbungkus ⁶⁰Co menjadi salah satu kendala bagi para pengguna. Penerbitan Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif membuka peluang secara legal bagi BATAN untuk mendaur ulang zat radioaktif terbungkus yang sudah tidak digunakan yang berasal dari para penghasil limbah. Tulisan ini melaporkan hasil kajian terhadap tahapan yang dilakukan dalam proses daur ulang zat radioaktif terbungkus ⁶⁰Co untuk penggunaan di bidang logging minyak dan batubara. Kajian keselamatan merupakan langkah yang harus dilakukan terlebih dahulu guna mengetahui sejauh mana tingkat kelayakan dan keselamatannya selama proses daur ulang selanjutnya. Proses daur ulang harus dilakukan di laboratorium yang memiliki fasilitas yang memadai. Adapun tahapan proses daur ulang selengkapnya meliputi pengeluaran *outer capsule* dari pembungkus luar, pengeluaran *inner capsule* dari dalam *outer capsule*, pengeluaran granul zat radioaktif ⁶⁰Co dari dalam *inner capsule*, pemasukan granul zat radioaktif ⁶⁰Co ke dalam *inner capsule* yang baru, pengujian awal *inner capsule* yang berisi granul zat radioaktif ⁶⁰Co, standardisasi aktivitas *inner capsule* yang berisi granul zat radioaktif ⁶⁰Co, pengujian zat radioaktif terbungkus ⁶⁰Co sebagai bentuk khusus dan penerbitan sertifikat zat radioaktif bentuk khusus. Hasil kajian menunjukkan bahwa produk daur ulang zat radioaktif terbungkus ⁶⁰Co terjamin keselamatannya untuk digunakan karena sudah melalui tahap standardisasi, pengujian dan sertifikasi oleh institusi yang kompeten.

Kata kunci : daur ulang, zat radioaktif, ⁶⁰Co, sumber terbungkus,

ABSTRACT

ASSESSMENT OF RECYCLE PROCESS OF UNUSED COBALT-60 SEALED RADIOACTIVE SUBSTANCE FOR OIL AND COAL LOGGING. In the last twenty years the need of sealed radioactive substance of ⁶⁰Co for oil and coal logging are still quite a lot. The high cost for imported products of the sealed radioactive substance of ⁶⁰Co becomes one of obstacles to users. The issuance of Government Regulation No. 61 Year 2013 on Radioactive Waste Management opens legal opportunity for BATAN to recycle the unused radiactive substances originating from waste-producers. This paper reports the results of an assessment on the steps undertaken in the recycle process of sealed ⁶⁰Co radioactive substance for use in the oil and coal logging fields. Safety assessment is a step that have to be undertaken first in order to know the extent of its feasibility and safety during subsequent recycle process. The recycle process should be done in a laboratory that has adequate facilities. The complete recycle process includes removing outer capsule from the outer seal, removing the inner capsule from the outer capsule, removing the ⁶⁰Co radioactive granule from inside the inner capsule, inserting the ⁶⁰Co radioactive granule into a new inner capsule, initial testing of the new inner capsule containing granules of radioactive substance of ⁶⁰Co, standardization of inner capsule activity containing granules of radioactive substance of ⁶⁰Co, testing of the new ⁶⁰Co sealed source as a special shape and issuing certificate for the special shape of the sealed radioactive substance. The results of the assessment shows that the recycled product of the sealed ⁶⁰Co radioactive substance is safe to be used as it has passed the steps of standardization, testing and certification by the competent institutions.

Keywords: recycle, radioactive substance, ⁶⁰Co, sealed source

PENDAHULUAN

Di dalam Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif disebutkan bahwa BATAN selaku badan pelaksana wajib melakukan pengumpulan dan pengelompokan zat radioaktif terbungkus 'yang tidak digunakan' yang diterima dari

penghasil limbah radioaktif. Selama pengumpulan dan pengelompokan tersebut BATAN dapat melakukan kajian sesuai dengan standar, pedoman, persyaratan dan/atau prosedur yang ditetapkan oleh Kepala BATAN dengan tujuan untuk menentukan apakah zat radioaktif terbungkus tersebut dapat digunakan sebagai zat radioaktif terbungkus yang dapat digunakan

kembali, zat radioaktif terbungkus yang dapat didaur ulang atau sebagai limbah radioaktif [1].

Apabila laporan hasil kajian menentukan sebagai zat radioaktif terbungkus yang dapat di daur ulang, maka Kepala BATAN menerbitkan sertifikat yang menyatakan bahwa zat radioaktif terbungkus tersebut telah diuji atau distandardisasi untuk dapat dimanfaatkan kembali. Yang dimaksud dengan daur ulang di sini adalah proses yang dilakukan terhadap zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan dengan tujuan untuk menghasilkan zat radioaktif terbungkus yang baru yang bisa digunakan kembali [1].

Zat radioaktif terbungkus ^{60}Co (cobalt-60) 'yang sudah tidak digunakan' merupakan salah satu jenis zat radioaktif yang berpotensi untuk diproses daur ulang menjadi sumber radioaktif terbungkus yang dapat digunakan kembali untuk berbagai pemanfaatan, antara lain penggunaan di bidang *logging* minyak dan *logging* batu bara sepanjang tingkat aktivitasnya masih cukup memadai untuk keperluan tersebut. Pada umumnya kebutuhan tingkat aktivitas untuk keperluan *logging* adalah sekitar 25 mCi sampai dengan 200 mCi. Pemanfaatan kembali ini sangat memungkinkan karena pada umumnya tingkat aktivitas ^{60}Co untuk penggunaan di bidang lain, misal untuk radiografi industri, lebih tinggi daripada untuk keperluan *logging*. Dengan demikian sumber ^{60}Co radiografi industri yang akan dilimbahkan masih dapat digunakan untuk *logging*. Karakteristik penting ^{60}Co adalah merupakan zat radioaktif dengan bagan peluruhan sederhana dan pemancar gamma dengan energi yang cukup tinggi, total sebesar 2504 keV untuk setiap peluruhan [2] dan mempunyai konstanta laju paparan sebesar 12.9 R-cm²/jam-mCi [3] sehingga sangat layak digunakan untuk keperluan radiografi industri sebagaimana ^{192}Ir yang memancarkan sinar gamma dengan total sebesar 816,5 keV [2] dan konstanta laju paparan sebesar 4,6 R-cm²/jam-mCi [3]. Selain itu ^{60}Co juga lazim digunakan untuk keperluan *logging* di samping zat radioaktif ^{137}Cs , ^{133}Ba dan ^{241}Am dan zat radioaktif pemancar neutron.

Untuk situasi tertentu proses daur ulang ^{60}Co cukup mendesak ketika kebutuhan layanan *logging* cukup besar sebagaimana yang terjadi di Arab Saudi [4]. Kelayakan dari aspek proses perizinan dan ekonomi daur ulang ^{60}Co dapat diuraikan sebagai berikut. Dalam kurun waktu dua puluh tahun terakhir kebutuhan produk zat radioaktif terbungkus ^{60}Co untuk kegiatan *logging* minyak dan batu bara semakin meningkat. Berdasarkan informasi langsung dari para penyedia peralatan untuk kegiatan *logging* seperti PT. Rajawali Permata Sakti, PT. Tracerco

dan PT. Dialog Sistemindo, harga sumber ^{60}Co hasil produk daur ulang hanya sekitar sepertiga dari harga produk yang sama yang diimpor dari luar negeri. Harga ini sangat menguntungkan bagi para pengguna produk tersebut. Dari aspek perizinanpun pihak pengguna sangat dimudahkan bila dibandingkan dengan membeli melalui impor.

Untuk melakukan daur ulang zat radioaktif terbungkus ^{60}Co 'yang sudah tidak digunakan' dengan tujuan untuk kegiatan *logging* minyak dan batu bara, terlebih dahulu harus dilakukan kajian keselamatan terhadap bungkusan tersebut untuk menjamin keselamatan dalam pelaksanaan tahap daur ulang berikutnya. Dari hasil kajian keselamatan tersebut kemudian dapat dilakukan tahapan proses daur ulang lebih lanjut di laboratorium yang memiliki fasilitas yang memadai untuk keperluan proteksi radiasi bagi pekerjanya. Tahapan proses daur ulang ^{60}Co yang paling sederhana adalah pemindahan zat radioaktif dari wadah lama ke wadah baru. Tahapan tersebut meliputi berturut-turut pengeluaran *outer capsule* yang berisi sumber terbungkus ^{60}Co dari pembungkus luar, pengeluaran *inner capsule* yang di dalamnya berisi granul zat radioaktif ^{60}Co dari dalam *outer capsule*, pengeluaran granul zat radioaktif ^{60}Co dari dalam *inner capsule*, pemasukan granul zat radioaktif ^{60}Co ke dalam *inner capsule* yang baru, pengukuran aktivitas *inner capsule* baru yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co , penutupan dan pengelasan *inner capsule* baru, pengujian awal *inner capsule* baru yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co , standarisasi sumber terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang, pengujian sumber terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang sebagai zat radioaktif bentuk khusus dan penerbitan sertifikat sumber terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang.

METODOLOGI

Metodologi dalam rangka kajian proses daur ulang zat radioaktif terbungkus ^{60}Co yang akan digunakan untuk kegiatan *logging* minyak dan *logging* batubara adalah dengan mengkaji dan memcermati tahapan-tahapan proses, dalam hal ini proses pengeluaran dari wadah lama dan pemindahan ke wadah yang baru disertai dengan pengujian, distandardisasi dan sertifikasinya. Adapun lingkup kajian pada proses daur ulang ini selengkapnya adalah sebagai berikut [5,6,7,8,9]:

1. Kajian terhadap proses kajian keselamatan terhadap bungkusan yang berisi zat radioaktif terbungkus ^{60}Co yang sudah tidak digunakan yang akan di daur ulang,

2. Kajian proses pengeluaran *outer capsule* yang berisi dari *inner capsule* dari pembungkus luar (*transport container*),
3. Kajian proses pengeluaran *inner capsule* yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co dari *outer capsule*,
4. Kajian proses pengeluaran granul zat radioaktif ^{60}Co dari *inner capsule*,
5. Kajian proses pemasukan granul zat radioaktif Co-60 ke dalam *inner capsule* yang baru,
6. Kajian proses pengukuran aktivitas *inner capsule* yang berisi ^{60}Co ,
7. Kajian proses standarisasi aktivitas ^{60}Co ,
8. Kajian proses pengujian zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang sebagai zat radioaktif bentuk khusus, dan
9. Kajian proses sertifikasi zat radioaktif bentuk khusus untuk produk zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian terhadap proses kajian keselamatan bungkusan

Berdasarkan Peraturan Kepala BATAN Nomor 7 Tahun 2017 tentang Penggunaan Kembali (*reuse*) dan Daur Ulang (*recycle*) Zat Radioaktif Terbungkus Yang Tidak Digunakan [10], kajian keselamatan terhadap bungkusan yang berisi zat radioaktif terbungkus ^{60}Co yang akan didaur ulang harus dilakukan terlebih dahulu untuk menjamin keselamatan pelaksanaan proses daur ulang. Inisiasi kajian keselamatan berasal dari Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR)–BATAN sebagai institusi pengelola limbah radioaktif untuk meminta Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR)–BATAN, sebagai institusi yang mempunyai kewenangan dan kompetensi, untuk melakukan pengkajian aspek keselamatan tersebut. Kajian keselamatan yang dilakukan oleh PTKMR minimal meliputi pemeriksaan kondisi fisik bungkusan, jenis zat radioaktif, aktivitas zat radioaktif, sifat fisika dan kimia zat radioaktif serta kemungkinan tingkat kesulitan proses daur ulang. Hasil kajian keselamatan ini disampaikan ke PTLR sebagai pihak pemohon dalam bentuk rekomendasi. Dari aspek kompetensi, PTKMR sebagai pihak yang melakukan kajian keselamatan adalah Pusat yang memiliki sejumlah fasilitas laboratorium pengujian yang telah terakreditasi oleh KAN berbasis ISO 17015-2008. Dengan demikian, selain independensi dan terhindarnya konflik kepentingan, mutu kajian dan pengujian juga dapat dipertanggungjawabkan.

Kajian Proses Pengeluaran *Outer Capsule* Dari Pembungkus Luar

Pada umumnya proses daur ulang dilakukan dengan memasukkan pembungkus luar zat radioaktif terbungkus ^{60}Co ke dalam suatu *hot cell* (*transfer cell*) yang mempunyai penahan radiasi dengan ketebalan tertentu sehingga paparan radiasi di luar *hot cell* tidak terpengaruh oleh zat radioaktif yang ada di dalam *hot cell*. *Outer capsule* yang berisi *inner capsule* dikeluarkan dari pembungkus luar dengan menggunakan *master slave manipulator* kemudian disimpan di meja *hot cell* yang sudah dilapisi dengan lembaran plastik untuk mencegah kontaminasi. Ukuran *outer capsule* pada umumnya berdiameter sekitar 3 cm dan tinggi sekitar 10 cm. Karena kegiatan pengeluaran *outer capsule* ini dilakukan di dalam *hot cell* maka kenaikan paparan radiasi di dalam *hot cell* tidak banyak berpengaruh terhadap keselamatan pekerja yang berada di luar *hot cell*.

Kajian proses pengeluaran *inner capsule* dari *outer capsule*

Proses pengeluaran *inner capsule* yang pada umumnya berukuran diameter 1,5 cm dan tinggi 6 cm dari dalam *outer capsule* dilakukan dengan cara menjepit *outer capsule* dengan ragum, kemudian membuka tutup *outer capsule* dengan menggunakan kunci L dan *master slave manipulator*, kemudian *inner capsule* dikeluarkan dan disimpan di dalam suatu tabung gelas. Tahapan kegiatan ini tetap dilakukan di dalam *hot cell*, sehingga kenaikan paparan radiasi yang cukup tinggi tidak mempengaruhi keselamatan pekerjaannya.

Kajian proses pengeluaran granul zat radioaktif ^{60}Co dari dalam *inner capsule*

Zat radioaktif ^{60}Co yang ada di dalam *inner capsule* pada umumnya berbentuk granul dengan diameter 2 mm. Untuk mengeluarkan granul zat radioaktif ^{60}Co , terlebih dahulu *inner capsule* dijepit dengan menggunakan ragum, kemudian dengan menggunakan kunci L dan *master slave manipulator* tutup *inner capsule* dibuka. *Inner capsule* yang sudah terbuka dilepas dari jepitan ragum, isi granul zat radioaktif ^{60}Co yang ada di dalamnya dituangkan ke dalam cawan gelas yang berdiameter 10 cm. Selanjutnya tiap-tiap butiran granul zat radioaktif ^{60}Co diukur aktivitasnya dengan menggunakan *Dose Calibrator*. Karena kegiatan pengeluaran granul zat radioaktif ^{60}Co dari dalam *inner capsule* dilakukan di dalam *hot cell*, meski paparan radiasi sangat tinggi namun keselamatan pekerja tetap terjamin, sedangkan pengukuran aktivitas granul dengan *Dose Calibrator* di luar *hot cell* dilakukan butir demi

butir sehingga paparan radiasinya masih di bawah batas keselamatan.

Kajian proses pemasukan granul zat radioaktif ^{60}Co ke dalam *inner capsule* yang baru

Untuk keperluan pewadahan granul zat radioaktif ^{60}Co yang akan digunakan untuk kegiatan logging minyak atau logging batubara pada umumnya digunakan *inner capsule* yang terbuat dari bahan *stainless steel* serie 304 dengan diameter 6 mm, tinggi 8 mm dan tebal 1 mm. Jumlah granul zat radioaktif ^{60}Co yang akan dimasukkan ke dalam *inner capsule* sesuai dengan besarnya aktivitas yang dibutuhkan. Adapun variasi aktivitas ^{60}Co yang digunakan untuk logging minyak atau batu bara pada umumnya berkisar antara 25 mCi, 50 mCi, 100 mCi, 150 mCi dan 200 mCi.

Di dalam *hot cell*, dengan menggunakan pinset dan *master slave manipulator*, butiran granul zat radioaktif ^{60}Co dimasukkan ke dalam *inner capsule* yang baru. Kumpulan granul zat radioaktif ^{60}Co yang sudah dimasukkan ke dalam *inner capsule* selanjutnya diukur aktivitasnya dengan menggunakan *dose callibrator*. Bila aktivitas yang terukur telah sesuai dengan yang dibutuhkan dengan toleransi perbedaan total aktivitas kurang dari 2 mCi selanjutnya *inner capsule* ditutup dengan penutup dan dilas secara atomik dengan metode TIG.

Inner capsule yang telah ditutup dengan metode pengelasan selanjutnya didekontaminasi (dibersihkan dari pengotor radioaktif) dengan air dan alkohol serta dilakukan tes usap menggunakan kertas saring. Kertas saring tersebut kemudian diukur aktivitasnya. *Inner capsule* akan dinyatakan bebas kontaminasi apabila hasil pengukuran kertas saring di bawah nilai 150 dpm (setara dengan 5 nCi) [5,6,7,8,9]. Tahapan ini adalah tahapan yang cukup menentukan terhadap kualitas dan aktivitas sumber ^{60}Co hasil daur ulang.

Kajian proses pengujian tahap awal *inner capsule* yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co

Di dalam *hot cell*, *inner capsule* yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co dipindahkan ke atas meja yang dapat berputar secara manual. Kamera monitor yang mempunyai perbesaran sekitar 50 kali diarahkan ke *inner capsule*. Hasil pengelasan diamati secara visual pada layar monitor. Pemeriksaan berikutnya adalah tes kebocoran dengan menggunakan metode gelembung udara sebagaimana yang dilakukan di Jerman [11]. *Inner capsule* yang telah lolos uji dipindahkan ke dalam suatu wadah gelas yang berisi larutan isopropanol. Wadah dihubungkan dengan sistem vacuum, kemudian divakum dengan kondisi 15

inci Hg selama 10 detik dan diamati gelembung yang keluar dari kapsul. Tekanan vakum dinaikkan sampai 20 inci Hg selama 10 detik dan diamati seperti pengamatan sebelumnya. Jika ada kebocoran maka kecepatan pembentukan gelembung udara akan terlihat lebih cepat dibandingkan dengan gelembung udara normal yang ada di sekeliling kapsul.

Hasil kajian menunjukkan bahwa tahapan ini memerlukan kualifikasi pekerja yang sangat kompeten dan berpengalaman dalam melakukan pemeriksaan secara visual. Hasil pemeriksaan visual akan sangat berpengaruh terhadap kualitas produk daur ulang.

Kajian proses pengukuran aktivitas dan standarisasi zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang.

Untuk keperluan pengukuran aktivitas secara akurat dan standarisasi, *inner capsule* yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co yang telah lolos uji tahap awal dikirim ke laboratorium standarisasi yang terakreditasi antara lain Lab standarisasi PTKMR-BATAN. Permohonan standarisasi produk zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang ke laboratorium standarisasi disampaikan dengan melampirkan [9] :

1. Gambar teknis *inner capsule* yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co hasil daur ulang,
2. Gambar teknis wadah tempat *inner capsule* yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co hasil daur ulang,
3. Sertifikat bebas kontaminasi untuk bungkusan yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co hasil proses daur ulang,
4. Dokumen "To Whom It May Concern" untuk bungkusan yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co hasil proses daur ulang,
5. Persetujuan pengiriman zat radioaktif dari BAPETEN.

Pengukuran aktivitas *inner capsule* yang berisi granul zat radioaktif ^{60}Co dilakukan dengan menggunakan *dose callibrator* yang telah dikalibrasi dengan sumber standar yang tertelusur ke sistem satuan internasional. Laboratorium standarisasi akan mengeluarkan hasil pengukuran berupa sertifikat hasil pengukuran aktivitas yang disertai dengan nilai ketidakpastian hasil pengukurannya. Dengan demikian *inner capsule* telah terstandarisasi. Nilai aktivitas dalam sertifikat hasil standarisasi dapat digunakan sebagai dasar pembuatan sertifikat kendali kualitas dan pembuatan tabel peluruhan (*decay charts*) untuk memudahkan pengguna di lapangan.

Karena pada tahap ini pengujian dilakukan oleh pihak yang kompeten dan independen maka

keluaran dari tahapan ini adalah produk daur ulang yang telah lolos uji jaminan kualitas dan terstandarisasi. Dengan demikian produk ini mempunyai tingkat keselamatan radiasi yang lebih baik.

Kajian proses pengujian zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang sebagai zat radioaktif bentuk khusus

Guna memenuhi persyaratan sebagai produk bentuk khusus, zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang harus diuji di laboratorium terakreditasi. Permohonan pengujian produk hasil proses daur ulang ke laboratorium terakreditasi ini disampaikan dengan melampirkan [5,6,7,9]:

1. Gambar teknis *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang.
2. Gambar teknis wadah tempat *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang,
3. Sertifikat hasil standarisasi zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang,
4. Sertifikat kendali kualitas zat radioaktif terbungkus hasil daur ulang,
5. Sertifikat bebas kontaminasi untuk bungkusan yang berisi produk ^{60}Co hasil proses daur ulang,
6. Dokumen "To Whom It May Concern" untuk bungkusan yang berisi produk ^{60}Co hasil proses daur ulang,
7. Persetujuan pengiriman zat radioaktif dari BAPETEN.

Jenis pengujian yang diberlakukan terhadap *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang sebagai bentuk khusus meliputi uji tumbuk, uji tembus, uji suhu, uji getar, uji tekanan eksternal, uji tekuk dan uji kebocoran sebagaimana ditetapkan di dalam ketentuan tentang Proteksi Radiasi Sumber radioaktif Tertutup Bagian I: Persyaratan Dan Klasifikasi (SNI 18-6650.1-2002) [12] dan Proteksi Radiasi Sumber radioaktif Tertutup Bagian II: Metode Uji Kebocoran (SNI 18-6650.2-2002) yang diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional [13]. Dari hasil pengujian zat radioaktif terbungkus dan/atau bentuk khusus ^{60}Co hasil daur ulang akan diperoleh sertifikat hasil uji yang dapat digunakan sebagai salah satu syarat untuk permohonan penerbitan sertifikat bentuk khusus ke BAPETEN.

Hasil kajian menunjukkan bahwa tahap ini merupakan tahap yang paling ketat dan krusial dari aspek kualitas produk. Hanya sumber ^{60}Co daur ulang yang benar-benar berkualitas dan memenuhi SNI yang akan lolos dari pengujian.

Sumber yang tidak berkualitas akan gugur pada tahap pengujian ini.

Kajian proses penerbitan sertifikat bentuk khusus untuk zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang oleh BAPETEN.

Produk zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang yang sudah dinyatakan lolos uji sebagai zat radioaktif bentuk khusus harus memiliki sertifikat bentuk khusus. Penerbitan sertifikat bentuk khusus ini adalah merupakan kewenangan BAPETEN.

Adapun kelengkapan dokumen yang dipersyaratkan untuk mendapatkan sertifikat bentuk khusus dari Bapeten adalah [9] :

1. Gambar teknis *inner capsule* yang berisi zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang.
2. Sertifikat hasil standarisasi zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang.
3. Sertifikat kendali kualitas zat radioaktif terbungkus ^{60}Co hasil daur ulang.
4. Dokumen laporan hasil uji zat radioaktif bentuk khusus ^{60}Co hasil daur ulang.

Hasil kajian menunjukkan bahwa Bapeten merupakan benteng terakhir lolosnya produk daur ulang zat radioaktif terbungkus ^{60}Co yang berkualitas. Bapeten tidak akan mengeluarkan sertifikat manakala persyaratan teknis yang harus dipenuhi pada tahap =tahap sebelumnya tidak terpenuhi.

KESIMPULAN

Pilihan untuk mendaur ulang sumber radiasi ^{60}Co 'yang sudah tidak digunakan' adalah tindakan yang layak untuk dilakukan karena selain masih mempunyai nilai ekonomi yang tinggi, juga akan menghambat sumber radiasi tersebut untuk segera menjadi sekedar limbah yang akan menambah beban pengelolaannya bagi PTLR. Mengingat potensi bahaya proses daur ulang, maka proses ini harus didahului dengan suatu kajian keselamatan yang komprehensif. Dari kajian tersebut akan dapat dievaluasi kelayakannya untuk dijadikan rekomendasi menuju langkah berikutnya. Berdasarkan proses daur ulang yang baku, maka tahapan yang dapat dinilai cukup kritis dan harus dilakukan dengan penuh kehati-hatian adalah tahap pengeluaran sumber dari pembungkus lama, pemindahan ke tempat transit di *hot cell* dan pemasukan kembali ke wadah yang baru. Produk daur ulang sumber radiasi ^{60}Co terjamin aman untuk digunakan karena sudah melalui tahap standarisasi, pengujian dan sertifikasi oleh institusi yang kompeten.,

DAFTAR PUSTAKA

1. Sekretariat Negara, *Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif*, Jakarta (2013).
2. International Commission on Radiological Protection (ICRP) Publication 107. *Nuclear decay data for dosimetric calculations*, Annals of the ICRP 38-3 (2008),
3. David S. Smith and Michael G. Stabin, *Exposure rate constants and lead shielding values for over 1100 radionuclides*, Health Physics 102-3 (2012), DOI: 10.1097/HP.0b013e318235153a
4. Falah Abu-Jarad, *The application of radiation sources in the oil and gas industry and shortages in their services*, Atoms for Peace: an International Journal (AFP) 2 - 4 (2009)
5. Muhammad, Suhaedi, *Kajian Keselamatan Untuk Proses Daur Ulang Zat Radioaktif Terbungkus ^{137}Cs dan ^{60}Co* , Dipresentasikan Dalam Rapat Konsultasi Antara PT. Batan Teknologi (Persero) Dengan BAPETEN, Tanggal 14 Juni 2000, Serpong (2000).
6. Muhammad, Suhaedi, *Proses Daur Ulang (Recycle) Zat Radioaktif Terbungkus ^{137}Cs dan ^{60}Co Untuk Logging Minyak Dan Batubara*, Dipresentasikan Dalam Rapat Konsultasi Antara PT. Batan Teknologi (Persero) Dengan BAPETEN, Tanggal 14 Juni 2000, Serpong (2000).
7. Divisi Produksi Radioisotop, *Petunjuk Pelaksanaan Proses Daur Ulang Zat Radioaktif Terbungkus ^{60}Co* , Nomor Dokumen BT141-A01-037, Serpong (2000).
8. Divisi Produksi Radioisotop, *Petunjuk Pelaksanaan Proses Daur Ulang Zat Radioaktif Terbungkus ^{137}Cs* , Nomor Dokumen BT141-A01-038, Serpong (2000).
9. Muhammad, Suhaedi, *Pengelolaan Zat Radioaktif Terbungkus Yang Tidak Digunakan Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 61 tahun 2013*, Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XII (2014).
10. Badan Tenaga Nuklir Nasional, *Peraturan Kepala BATAN Nomor 7 Tahun 2017 tentang Penggunaan Kembali (Reuse) dan Daur Ulang (Recycle) Zat Radioaktif Terbungkus Yang Tidak Digunakan*, Jakarta (2017).
11. Annette Rolle, Tino Neumeyer, Bernhard Droste Rolle, *Testing of sealed radioactive source at BAM*, Proceedings of Third European IRPA Congress, Helsinki, Finland (2010).
12. Badan Standarisasi Nasional, *Proteksi Radiasi Sumber radioaktif Tertutup Bagian I: Persyaratan Dan Klasifikasi (SNI 18-6650.1-2002)*, Jakarta, (2002).
13. Badan Standarisasi Nasional, *Proteksi Radiasi Sumber radioaktif Tertutup Bagian II : Metode Uji Kebocoran (SNI 18-6650.2-2002)*, Jakarta, (2002).