

## **PENERAPAN NILAI BATAS LEPASAN RADIOAKTIVITAS KE BADAN AIR DI KAWASAN NUKLIR SERPONG**

**Arif Yuniarto, Aepah Nurbiyanti, Ambar Winansi, Ritayanti**  
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Gedung 71 Kawasan PUSPIPTEK Serpong  
E-mail: [arif\\_y@batan.go.id](mailto:arif_y@batan.go.id)

### **ABSTRAK**

**PENERAPAN NILAI BATAS LEPASAN RADIOAKTIVITAS KE BADAN AIR DI KAWASAN NUKLIR SERPONG.** Fasilitas nuklir di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) pada kondisi operasi normal (bukan kecelakaan) berpotensi melepaskan zat radioaktif ke badan air (akuatik). Oleh karena itu, pengendalian pelepasan efluen cair ke lingkungan dengan mempertimbangkan dampak radiologi yang dapat diterima oleh masyarakat perlu dilakukan. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan pada Pasal 6 menyatakan bahwa Pemegang Izin (PI) dari fasilitas harus menetapkan Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan untuk tujuan desain proteksi radiasi fasilitas. Nilai Batas Lepas Radioaktivitas ke Lingkungan harus disampaikan kepada Kepala BAPETEN yang menjadi bagian program proteksi dan keselamatan radiasi untuk pengajuan izin konstruksi, komisioning, dan operasi. Dalam rangka melaksanakan peraturan tersebut, KNS BATAN menyusun dokumen Kajian Nilai Batas Lepas Radioaktif ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong dengan tujuan menetapkan nilai batas lepasan radioaktivitas ke lingkungan untuk seluruh instalasi di KNS yang memiliki potensi lepasan efluen radioaktif ke lingkungan dan telah disampaikan ke BAPETEN. Setelah tersusunnya dokumen tersebut, diperlukan suatu implementasi pelaksanaan dalam pengendalian lepasan radioaktif, dalam hal ini lepasan efluen cair ke badan air. Metode yang digunakan antara lain pengambilan sampel efluen cair pada kolam Pemantauan Buangan Terpadu (PBT), pengukuran konsentrasi aktivitas sampel efluen cair dengan spektrometer gamma, serta perhitungan aktivitas total efluen cair dan verifikasi keberterimaannya terhadap nilai batas lepasan mingguan ke badan air KNS. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa aktivitas total efluen cair KNS lebih kecil dari nilai batas lepasan mingguan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pelepasan efluen cair KNS tidak memberikan dampak radiasi yang signifikan bagi masyarakat di sekitar KNS.

Kata Kunci : nilai batas lepasan radioaktivitas, efluen cair, Kawasan Nuklir Serpong

### **ABSTRACT**

**IMPLEMENTATION OF RADIOACTIVITY DISCHARGE LIMITS TO WATER BODY IN SERPONG NUCLEAR AREA.** Nuclear facility in Serpong Nuclear Area (KNS) under normal operating conditions (not an accident) has the potential to release radioactive substances into a water body (aquatic). Therefore, a control of the discharge of liquid effluent into the environment by considering the radiological consequences that can be accepted by public members needs to be performed. Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) Chairman's Regulation Number 7 Year 2013 on Environmental Radioactivity Limit in Article 6 states that licensees should establish radioactivity discharge limits to the environment for the purpose of radiation protection design of the facilities. The discharge limits must be reported to the Chairman of BAPETEN as a part of radiation protection and safety program for submitting permits of construction, commissioning, and operation. In order to implement these regulations, KNS BATAN establish a document on Assessment of Environmental Radioactivity Discharge Limits for Serpong Nuclear Area for setting discharge limits into the environment for entire installations in KNS that have the potential releases of radioactive effluents into the environment and has been submitted to BAPETEN. After establishing the document, it needs an implementation on the control of radioactive releases, in this case liquid effluent into water bodies. Methods used include liquid effluent sampling on an Integrated Effluent Monitoring (PBT), measurement of activity concentration of liquid effluent samples using gamma spectrometers, as well as the calculation of the total activity of liquid effluents and verification of acceptability to weekly discharge limits into water bodies around KNS. The verification results show that the total activity of liquid effluent in KNS is less than the weekly discharge limits. It can be concluded that the liquid effluent discharge KNS does not give significant radiation impact for public members around KNS.

Keywords : radioactivity discharge limit, liquid effluent, Nuclear Serpong Area

## PENDAHULUAN

Kawasan Nuklir Serpong (KNS) merupakan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Nuklir yang berlokasi di Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan. Di dalam kawasan ini terdapat berbagai fasilitas penelitian dan pengembangan teknologi nuklir antara lain reaktor serbaguna, fasilitas produksi bahan bakar nuklir, fasilitas produksi radioisotop dan radiofarmaka, instalasi pengolah limbah radioaktif serta fasilitas pendukung lainnya. Seluruh fasilitas tersebut merupakan fasilitas Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang merupakan Lembaga Pemerintah Non Kementerian yang didirikan berdasarkan Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran. [1]

Reaktor Serba Guna dan Laboratorium Penunjang (RSG-LP) di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) telah dirancang, dibangun dan dioperasikan dengan memperhatikan faktor keselamatan baik untuk pekerja, masyarakat dan lingkungan. Namun demikian, tidak dapat dihindarkan sejumlah kecil zat radioaktif yang terlepas ke lingkungan. Selain lepasan ke udara (atmosferik), fasilitas nuklir pada kondisi operasi normal (bukan kecelakaan) juga berpotensi melepaskan zat radioaktif ke badan air (akuatik). Jika tidak diperhatikan, lepasan zat radioaktif ke badan air berpotensi memberikan penerimaan dosis radiasi kepada masyarakat di sekitar KNS. Terkait hal tersebut, diperlukan suatu pengendalian dan pengawasan pelepasan efluen cair ke lingkungan dengan mempertimbangkan dampak radiologi yang dapat diterima oleh masyarakat. [2]

Di dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor SK.63/Menlhk/Setjen/PKTL.4/2/2016 tentang Perubahan Izin Lingkungan Kegiatan Operasional Kawasan Nuklir Serpong dan Irradiator serta Fasilitas Lainnya di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) – BATAN, PUSPIPTEK – Serpong, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten, oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) juga dinyatakan bahwa salah satu dampak lingkungan yang dikelola adalah peningkatan lepasan radioaktif ke badan air yang bersumber dari lepasan efluen radioaktif cair dari instalasi Pemantauan Buangan Terpadu (PBT). Indikator keberhasilan pengelolaan lingkungan hidup terkait dampak tersebut berupa aktivitas radionuklida tidak melebihi nilai batas lepasan radioaktivitas ke badan air sebagaimana diatur dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan. [3]

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan pada Pasal 6 dinyatakan bahwa Pemegang Izin (PI) dari fasilitas harus menetapkan Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan untuk tujuan desain proteksi radiasi fasilitas [4]. Nilai Batas Lepasannya Radioaktivitas ke Lingkungan harus disampaikan kepada Kepala BAPETEN yang menjadi bagian program proteksi dan keselamatan radiasi untuk pengajuan izin konstruksi, komisioning, dan operasi. Dalam hal pembatas dosis untuk anggota masyarakat, BAPETEN telah menetapkan nilai pembatas dosis maksimum untuk satu kawasan yang ditetapkan pada Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir [5].

Dalam rangka melaksanakan peraturan tersebut, KNS BATAN menyusun dokumen Kajian Nilai Batas Lepasannya Radioaktif ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong dengan tujuan menetapkan nilai batas lepasannya radioaktivitas ke lingkungan untuk seluruh instalasi di KNS yang memiliki potensi lepasannya efluen radioaktif ke lingkungan. Batas lepasannya ditetapkan untuk lepasannya ke udara dan ke badan air. Batas lepasannya tersebut merupakan panduan operasional tiap-tiap satuan kerja yang ada di KNS dalam mengelola dan mengendalikan lepasannya zat radioaktif ke lingkungan.

Setelah tersusunnya dokumen yang menetapkan batas lepasannya radioaktif tersebut, diperlukan suatu penerapan pelaksanaan dalam pengendalian dan pengawasan efluen radioaktif. Pada dasarnya, aktivitas total lepasannya per minggu harus diukur dan dihitung dengan metode yang representatif sehingga dapat dibandingkan dengan batas lepasannya per minggu yang diturunkan dari batas lepasannya tahunan. Ruang lingkup pembahasan kajian ini dibatasi pada pengendalian efluen cair yang berasal dari instalasi-instalasi di KNS. Pengendalian efluen radioaktif cair di KNS dilakukan oleh Sub Bidang Pemantauan Lingkungan dan Kedaruratan di bawah Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN). Sebelum dilepas ke lingkungan, efluen radioaktif cair dari instalasi nuklir di KNS dialirkan dan ditampung di kolam PBT.

PBT bertujuan untuk mengawasi pembuangan tahap akhir efluen radioaktif cair oleh setiap instalasi nuklir yang berada di KNS sebelum dialirkan ke badan air kali Cisalak. Hal ini dilakukan sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang ditetapkan oleh BATAN, BAPETEN dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Fasilitas PBT adalah kolam penampungan efluen radioaktif cair sebelum dialirkan/dibuang ke lingkungan. Setiap instalasi yang akan membuang efluen radioaktif cair harus memiliki tempat penampungan sementara sebelum dikirim ke fasilitas PBT. Proses pemindahan efluen dari tiap instalasi menggunakan pompa isap tekan yang terdapat di masing-masing instalasi, kemudian melalui pipa saluran dialirkan secara gravitasi ke kolam penampungan PBT.

Dalam penentuan batas lepasan, suku sumber lepasan akuatik (ke badan air) ditentukan berdasarkan data lepasan instalasi melalui Pemantauan Buangan Terpadu (PBT) KNS periode 2009 s.d 2013. Untuk pendekatan konservatif, digunakan data lepasan maksimum tahunan, yaitu lepasan tahun 2012. Radionuklida dominan yang sering dilepas adalah Zn-65, Co-60 dan Na-24 yang berasal dari efluen cair Reaktor Serba Guna. Selain itu, radionuklida lain yang perlu diantisipasi adalah Cs-137 dari kegiatan laboratorium dan pengolahan limbah di KNS. Dalam hal ini, radionuklida potensial dari IRR terkait Izin Operasi Untuk Produksi Radioisotop Tahun 2014 perlu ditentukan batas lepasan akuatiknya melalui pendekatan faktor perhitungan dosis sebagai bentukantisipasi. Dalam kajian lepasan akuatik KNS, jalur paparan radiasi yang dipertimbangkan antara lain paparan eksternal dari sedimen sungai dan paparan internal dari injeksi produk perikanan. Perhitungan nilai penerimaan dosis pada kelompok kritis menggunakan skenario sebagaimana kondisi spesifik tapak. Kelompok kritis diasumsikan menerima dosis tahunan dari jalur paparan injeksi (ikan) serta dari pemancangan berupa paparan radiasi eksternal. Selanjutnya, dilakukan perhitungan dosis individual yang diterima dalam skenario yang mewakili kelompok kritis tersebut. Berdasarkan dosis individual, data lepasan dan pembatas dosis, dapat dihitung batas lepasan akuatik instalasi KNS.

Beberapa ketentuan terkait pengaliran efluen cair dari instalasi ke kolam PBT, antara lain:

- Setiap instalasi tidak boleh melewati batas lepasan turunan per minggu, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.
- Instalasi yang memiliki saluran ke kolam Pemantauan Buangan Terpadu (PBT) dapat melakukan pengaliran efluen cair melalui koordinasi dengan PPIKSN selaku koordinator pemantauan lingkungan kawasan sesuai prosedur.
- Setiap instalasi harus melakukan pengukuran konsentrasi aktivitas lepasan efluen cair dalam satuan Bq/volume dan total volume efluen cair yang dikirim ke tempat penampungan PBT dan melaporkan lepasan tersebut ke PPIKSN untuk setiap kali pengaliran.

Ketentuan tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa efluen radioaktif cair yang dialirkan ke kolam PBT merupakan efluen yang memenuhi syarat dari aspek radioaktivitas dapat dilepas ke badan air. Selanjutnya, PPIKSN melakukan pengambilan sampel pada kolam PBT, melakukan analisis pengukuran kandungan zat radioaktif menggunakan spektrometer gamma, melakukan perhitungan aktivitas total dan membandingkan aktivitas total tersebut dengan batas lepasan sebagai bentuk verifikasi akhir sebelum efluen radioaktif cair dilepas ke badan air.

**Tabel 1.** Nilai Batas Lepasn Radioaktivitas ke Badan Air KNS

Nuklida	Batas Lepasn (Bq/tahun)	Batas Lepasn Turunan (Bq/minggu)
Au-198	$3,94 \times 10^{11}$	$7,57 \times 10^9$
Br-82	$4,41 \times 10^{10}$	$8,47 \times 10^8$
Co-58	$2,92 \times 10^{10}$	$5,62 \times 10^8$
Co-60	$1,14 \times 10^{10}$	$2,19 \times 10^8$
Cs-137	$3,94 \times 10^{10}$	$7,57 \times 10^8$
Cu-64	$2,13 \times 10^{11}$	$4,09 \times 10^9$
F-18	$1,18 \times 10^{11}$	$2,27 \times 10^9$
Fe-59	$2,43 \times 10^{10}$	$4,68 \times 10^8$
Gd-153	$2,84 \times 10^{11}$	$5,46 \times 10^9$
Hg-203	$1,78 \times 10^{11}$	$3,42 \times 10^9$
I-125	$7,04 \times 10^{11}$	$1,35 \times 10^{10}$
I-131	$2,09 \times 10^{11}$	$4,02 \times 10^9$
Ir-192	$3,51 \times 10^{10}$	$6,75 \times 10^8$
Lu-177	$9,52 \times 10^{11}$	$1,83 \times 10^{10}$
Mo-99	$3,61 \times 10^{11}$	$6,94 \times 10^9$

Nuklida	Batas Lepasn (Bq/tahun)	Batas Lepasn Turunan (Bq/minggu)
Na-24	$1,08 \times 10^{12}$	$2,09 \times 10^{10}$
P-32	$3,83 \times 10^9$	$7,37 \times 10^7$
Pd-103	$1,75 \times 10^{12}$	$3,37 \times 10^{10}$
Re-186	$2,13 \times 10^{12}$	$4,10 \times 10^{10}$
Re-188	$1,49 \times 10^{12}$	$2,87 \times 10^{10}$
Sm-153	$5,26 \times 10^{11}$	$1,01 \times 10^{10}$
Sr-90	$7,81 \times 10^{11}$	$1,50 \times 10^{10}$
Tc-99m	$2,14 \times 10^{13}$	$4,12 \times 10^{11}$
U-235	$7,46 \times 10^{11}$	$1,44 \times 10^{10}$
U-238	$9,80 \times 10^{11}$	$1,89 \times 10^{10}$
W-188	$5,49 \times 10^{12}$	$1,06 \times 10^{11}$
Y-90	$2,70 \times 10^{13}$	$5,20 \times 10^{11}$
Yb-169	$9,71 \times 10^{10}$	$1,87 \times 10^9$
Zn-65	$6,55 \times 10^{10}$	$1,26 \times 10^9$

Makalah ini bertujuan untuk memberikan *good practice* dalam pemantauan batas lepasan efluen radioaktif cair yang berasal dari beberapa fasilitas nuklir di dalam suatu kawasan secara terpusat. Metode yang digunakan dalam makalah ini bukan satu-satunya metode pendekatan dalam pemantauan lepasan efluen radioaktif cair. Metode tersebut dapat dievaluasi dan dikembangkan dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti kondisi kawasan, peralatan yang tersedia, serta peraturan yang berlaku.

## METODOLOGI

Bahan yang digunakan berupa sampel efluen cair yang dilepas ke badan air KNS melalui kolam PBT mulai Januari sampai dengan Juni 2016 sebagai periode awal penerapan nilai batas lepasan radioaktivitas di KNS.

Alat yang digunakan antara lain pengambil sampel efluen cair, wadah sampel dan perangkat spektrometer gamma.

Metode yang digunakan antara lain:

- Pengambilan sampel efluen cair pada kolam PBT  
Pengambilan sampel efluen cair pada kolam PBT dilakukan sama seperti SOP Pengambilan sampel air lingkungan di mana prosedur/SOP tersebut dapat juga digunakan untuk penerapan pada pengambilan sampel efluen cair pada kolam PBT [6]. SOP ini berlaku sebagai pedoman dalam pengambilan sampel air lingkungan di daerah pemantauan radioaktivitas lingkungan Kawasan Nuklir Serpong. Jadi pengambilan sampel adalah cara atau prosedur dalam memperoleh bagian yang representatif dari bahan tertentu atau contoh lingkungan. Adapun tahapan-tahapan yang harus disiapkan dalam pengambilan sampel efluen cair pada kolam PBT adalah :
  1. Menyiapkan peralatan pengambilan sampel air (*water sampler*),
  2. Menyiapkan wadah sampel air (jirigen) ukuran 2 liter,
  3. Melabeli wadah sampel air dengan kode sampel yang akan diambil,
  4. Melakukan pengadukan efluen cair pada kolam PBT sebelum diambil sampelnya,
  5. Melakukan pengambilan sampel dengan alat pengambil sampel air dan memasukkannya ke dalam wadah sampel air,
  6. Menyerahkan sampel kepada petugas analisis untuk dilakukan pengukuran menggunakan spektrometer gamma.
- Pengukuran konsentrasi aktivitas sampel efluen cair dengan spektrometer gamma  
Metode pengukuran konsentrasi aktivitas sampel efluen cair mengacu pada SOP Pengoperasian dan Perawatan Spektrometer Gamma [7] serta SOP Analisis Spektrometer Gamma [8]. Ada beberapa tahap dalam pengukuran konsentrasi aktivitas sampel efluen cair setelah dilakukan pengambilan sampel dari kolam PBT, yaitu ;
  1. Preparasi sampel efluen  
Pada proses preparasi, sampel efluen cair yang berasal dari kolam PBT diperlakukan sama dengan sampel air lingkungan. Sampel dituang ke dalam botol sampel khusus, yang telah dibilas terlebih dahulu dengan aquades. Volume sampel untuk pencacahan yaitu 500 ml sesuai dengan volume sumber standar yang digunakan untuk kalibrasi.
  2. Persiapan kondisi operasi  
Sebelum melakukan pengoperasian peralatan, terlebih dahulu dilakukan pengkondisian ruangan dan peralatan sebagai berikut :
    - a. Kondisi ruangan dengan rentang suhu 20 – 24°C
    - b. Berat dewar detektor minimal 17 kg untuk MCA-1 dan 10 kg untuk MCA-2
    - c. Dewar detektor telah terisi nitrogen cair, minimal 7 jam sebelum operasi
  3. Pengoperasian spektrometer gamma  
Pengukuran konsentrasi aktivitas dilakukan dengan menggunakan spektrometer gamma jenis *high purity germanium* (HPGe) yang memiliki efisiensi relatif 10% (MCA 1) dan 20% (MCA 2). Pengoperasian dilakukan dengan tahapan kerja sebagai berikut :
    - a. Memastikan bahwa spektrometer gamma telah dikalibrasi, baik kalibrasi efisiensi maupun kalibrasi energi. Hal ini disebabkan metode spektrometer gamma merupakan metode pengukuran relatif, sehingga diperlukan kalibrasi untuk identifikasi jenis nuklida dan pengukurannya.
    - b. Mengatur posisi HV pada kanal 3,3 kV untuk MCA-1 dan 2,2 kV untuk MCA-2.

- c. Memastikan posisi amplifier dan pre-amplifier sesuai dengan kondisi saat komisioning.
- d. Pencacahan dilakukan selama 8 jam.
- e. Setelah dilakukan pencacahan, kemudian dilakukan analisis menggunakan bantuan perangkat lunak *Genie2000*.

- **Perhitungan aktivitas total efluen cair**

Dari hasil analisis sampel menggunakan spektrometer gamma, dapat diidentifikasi jenis radionuklida dan konsentrasi aktivitas dari efluen radioaktif cair. Untuk memperoleh aktivitas total efluen, konsentrasi aktivitas tiap radionuklida dikalikan dengan volume efluen yang akan dilepas ke lingkungan.

Rumus perhitungan aktivitas total tiap radionuklida dalam efluen sebagai berikut:

$$A_i = C_i \times V \dots\dots\dots (1)$$

di mana:

$A_i$  : Aktivitas total radionuklida  $i$

$C_i$  : Konsentrasi aktivitas radionuklida  $i$  (Bq/L)

$V$  : Volume efluen yang dialirkan

Pada umumnya, proses laboratorium maupun pengolahan limbah di KNS akan menghasilkan beberapa jenis radionuklida yang kemudian dilepas oleh instalasi melalui kolam PBT. Sehingga untuk lepasan lebih dari satu radionuklida, berlaku rumus rasio penjumlahan sebagai berikut :

Rumus rasio penjumlahan :

$$\sum_i^n \frac{A_i}{NBRL_i} \leq 1 \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

$A_i$  : Lepasn radionuklida ke lingkungan radionuklida  $i$  hingga  $n$

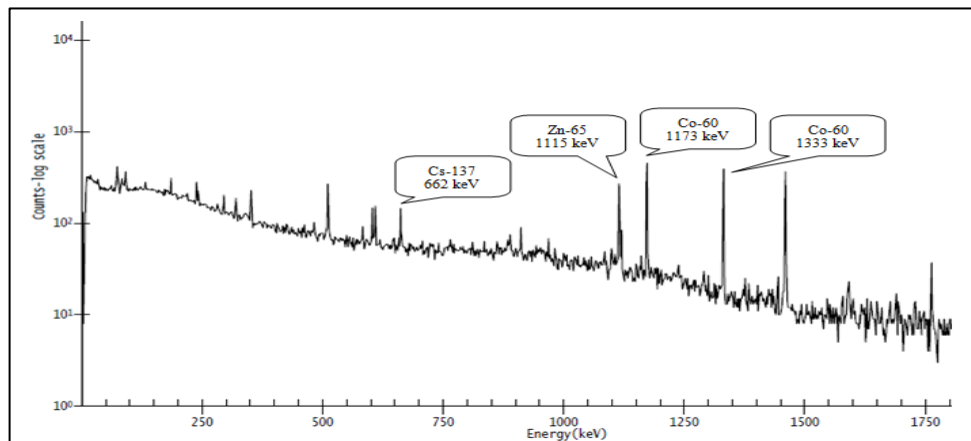
$NBRL_i$  : Nilai batas radioaktivitas lingkungan radionuklida  $i$  hingga  $n$

- **Verifikasi keberterimaan terhadap nilai batas lepasan mingguan ke badan air KNS**

Dengan rumus di atas, dapat diketahui nilai aktivitas total radionuklida yang selanjutnya akan dibandingkan dengan data pembanding yaitu Nilai Batas Lepasn Radioaktivitas ke Lingkungan KNS. Data pembanding tersebut berfungsi sebagai kontrol, di mana nilai aktivitas total radionuklida yang dilepas per minggu tidak boleh melebihi batas lepasn turunan per minggu. Dengan adanya kontrol tersebut, setiap instalasi memiliki nilai batas tertentu untuk dapat melepas radonuklida ke lingkungan melalui badan air.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, kandungan lepasn efluen radioaktif cair KNS terdiri dari tiga radionuklida, yaitu Co-60, Zn-65 dan Cs-137. Kandungan radionuklida tersebut diidentifikasi menggunakan spektrometer gamma. Radionuklida Co-60 diidentifikasi pada energi 1173 dan 1333 keV, Zn-65 pada 1115 keV, sedangkan Cs-137 pada 662 keV. Co-60 dan Zn-65 merupakan produk aktivasi, sedangkan Cs-137 merupakan produk fisi.



**Gambar 1.** Tipe Spektrum Sampel Efluen Cair dari Kolam PBT

Gambar 1 menunjukkan tipe spektrum yang sering ditemukan pada analisis sampel efluen radioaktif cair dari kolam PBT. Selain jenis radionuklida, dari spektrum tersebut juga dapat dianalisis konsentrasi aktivitas tiap radionuklia yang terkandung dalam sampel. Jenis radionuklida dan konsentrasi aktivitas merupakan parameter penting dalam mengestimasi kelayakan pelepasan efluen radioaktif cair ke badan air.

Berdasarkan kegiatan penerapan nilai batas lepasan radioaktivitas ke badan air di KNS selama semester I (Januari – Juni) tahun 2016, dapat disusun suatu tabel yang menggambarkan tanggal pelepasan, volume, radionuklida, konsentrasi aktivitas dan aktivitas total efluen yang dilepas dalam setiap minggu kalender, seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Aktivitas total efluen dihitung dengan mengkalikan antara konsentrasi aktivitas per radionuklida dan volume efluen cair menggunakan persamaan (1). Pelepasan per minggu merupakan penjumlahan dari pelepasan per batch pada minggu yang sama. Selanjutnya, aktivitas total efluen yang dilepas dalam setiap minggu selanjutnya dibandingkan dengan nilai batas lepasan mingguan. Selama semester I tahun 2016, aktivitas total lepasan per minggu untuk tiap radionuklida lebih kecil dari batas lepasan mingguan. Hal tersebut menunjukkan bahwa lepasan efluen radioaktif cair KNS berada pada tingkat keselamatan yang diizinkan.

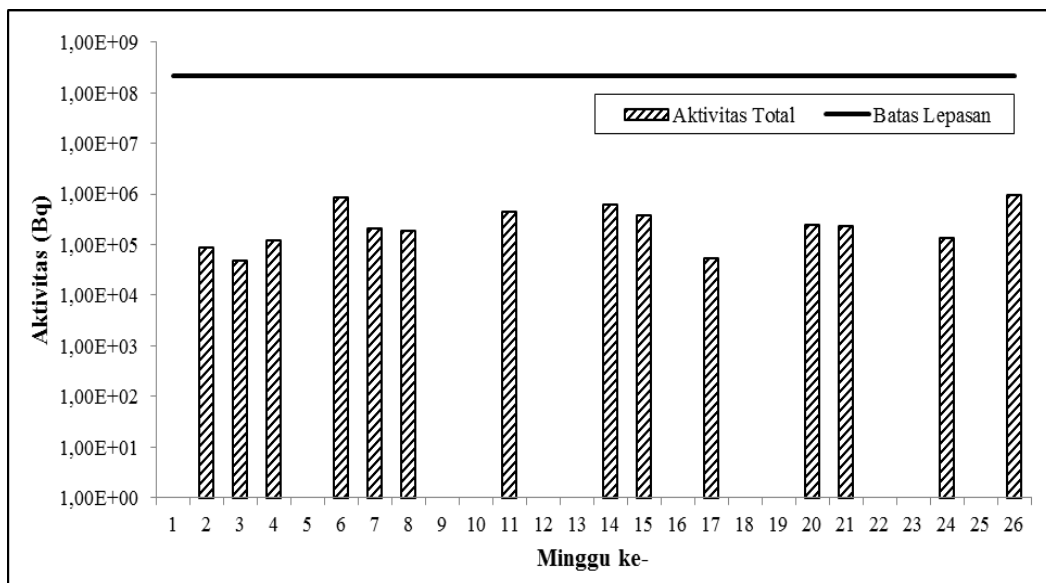
**Tabel 2.** Pelepasan Efluen Radioaktif Cair KNS Semester I Tahun 2016

Minggu ke- (tanggal)	Tanggal Pelepasan	Volume (m <sup>3</sup> )	Pelepasan Per Batch			Pelepasan Per Minggu		Batas Lepas per Minggu (Bq)
			Radionuklida	Konsentrasi Aktivitas (Bq/L)	Aktivitas Total (Bq)	Radionuklida	Aktivitas Total (Bq)	
1 (04/01/2016 – 10/01/2016)	Tidak ada pelepasan							
2 (11/01/2016 – 17/01/2016)	15/1/2016	15	Co-60	5,95	8,93 x 10 <sup>4</sup>	Co-60	8,93 x 10 <sup>4</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup>
			Zn-65	9,18	1,38 x 10 <sup>5</sup>	Zn-65	1,38 x 10 <sup>5</sup>	1,26 x 10 <sup>9</sup>
			Cs-137	7,92	1,19 x 10 <sup>5</sup>	Cs-137	1,19 x 10 <sup>5</sup>	7,57 x 10 <sup>8</sup>
3 (18/01/2016 – 24/01/2016)	18/1/2016	14	Co-60	3,52	4,93 x 10 <sup>4</sup>	Co-60	4,93 x 10 <sup>4</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup>
			Cs-137	1,41	1,97 x 10 <sup>4</sup>	Cs-137	1,97 x 10 <sup>4</sup>	7,57 x 10 <sup>8</sup>
4 (25/01/2016 – 31/01/2016)	27/1/2016	20	Co-60	6,20	1,24 x 10 <sup>5</sup>	Co-60	1,24 x 10 <sup>5</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup>
			Zn-65	7,29	1,46 x 10 <sup>5</sup>	Zn-65	1,46 x 10 <sup>5</sup>	1,26 x 10 <sup>9</sup>
			Cs-137	1,43	2,86 x 10 <sup>4</sup>	Cs-137	2,86 x 10 <sup>4</sup>	7,57 x 10 <sup>8</sup>
5 (01/02/2016 – 07/02/2016)	Tidak ada pelepasan							
6 (08/02/2016 – 14/02/2016)	10/2/2016	40	Co-60	15,23	6,09 x 10 <sup>5</sup>	Co-60	8,79 x 10 <sup>5</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup>
			Zn-65	28,48	1,14 x 10 <sup>6</sup>			
			Cs-137	14,22	5,69 x 10 <sup>5</sup>			
	12/2/2016	35	Co-60	7,71	2,70 x 10 <sup>5</sup>	Zn-65	1,66 x 10 <sup>6</sup>	1,26 x 10 <sup>9</sup>
Zn-65			15,00	5,25 x 10 <sup>5</sup>	Cs-137	8,64 x 10 <sup>5</sup>	7,57 x 10 <sup>8</sup>	
7 (15/02/2016 – 21/02/2016)	18/2/2016	20	Co-60	10,81	2,16 x 10 <sup>5</sup>	Co-60	2,16 x 10 <sup>5</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup>
			Zn-65	17,71	3,54 x 10 <sup>5</sup>	Zn-65	3,54 x 10 <sup>5</sup>	1,26 x 10 <sup>9</sup>
			Cs-137	2,78	5,56 x 10 <sup>4</sup>	Cs-137	5,56 x 10 <sup>4</sup>	7,57 x 10 <sup>8</sup>
8 (22/02/2016 – 28/02/2016)	23/02/2016	15	Co-60	12,87	1,93 x 10 <sup>5</sup>	Co-60	1,93 x 10 <sup>5</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup>
			Zn-65	26,33	3,95 x 10 <sup>5</sup>	Zn-65	3,95 x 10 <sup>5</sup>	1,26 x 10 <sup>9</sup>
			Cs-137	5,49	8,24 x 10 <sup>4</sup>	Cs-137	8,24 x 10 <sup>4</sup>	7,57 x 10 <sup>8</sup>

Minggu ke- (tanggal)	Tanggal Pelepasan	Volume (m <sup>3</sup> )	Pelepasan Per Batch			Pelepasan Per Minggu		Batas Lepas per Minggu (Bq)
			Radionuklida	Konsentrasi Aktivitas (Bq/L)	Aktivitas Total (Bq)	Radionuklida	Aktivitas Total (Bq)	
9 (29/02/2016 – 06/03/2016)	Tidak ada pelepasan							
10 (07/03/2016 – 13/03/2016)	Tidak ada pelepasan							
11 (14/03/2016 – 20/03/2016)	16/3/2016	40	Co-60 Zn-65 Cs-137	11,05 11,99 3,26	4,42 x 10 <sup>5</sup> 4,80 x 10 <sup>5</sup> 1,30 x 10 <sup>5</sup>	Co-60 Zn-65 Cs-137	4,42 x 10 <sup>5</sup> 4,80 x 10 <sup>5</sup> 1,30 x 10 <sup>5</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup> 1,26 x 10 <sup>9</sup> 7,57 x 10 <sup>8</sup>
12 (21/03/2016 – 27/03/2016)	Tidak ada pelepasan							
13 (28/03/2016 – 03/04/2016)	Tidak ada pelepasan							
14 (04/04/2016 – 10/04/2016)	6/4/2016	40	Co-60 Zn-65 Cs-137	15,56 8,40 2,08	6,22 x 10 <sup>5</sup> 3,36 x 10 <sup>5</sup> 8,32 x 10 <sup>4</sup>	Co-60 Zn-65 Cs-137	6,22 x 10 <sup>5</sup> 3,36 x 10 <sup>5</sup> 8,32 x 10 <sup>4</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup> 1,26 x 10 <sup>9</sup> 7,57 x 10 <sup>8</sup>
15 (11/04/2016 – 17/04/2016)	12/4/2016	40	Co-60 Zn-65 Cs-137	9,82 22,46 1,90	3,93 x 10 <sup>5</sup> 8,98 x 10 <sup>5</sup> 7,60 x 10 <sup>4</sup>	Co-60 Zn-65 Cs-137	3,93 x 10 <sup>5</sup> 8,98 x 10 <sup>5</sup> 7,60 x 10 <sup>4</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup> 1,26 x 10 <sup>9</sup> 7,57 x 10 <sup>8</sup>
16 (18/04/2016 – 24/04/2016)	Tidak ada Pelepasan							
17 (25/04/2016 – 01/05/2016)	29/4/2016	50	Co-60 Zn-65	5,58 3,25	5,52 x 10 <sup>4</sup> 6,50 x 10 <sup>4</sup>	Co-60 Zn-65	5,52 x 10 <sup>4</sup> 6,50 x 10 <sup>4</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup> 1,26 x 10 <sup>9</sup>
18 (02/05/2016 – 08/05/2016)	Tidak ada Pelepasan							
19 (09/05/2016 – 15/05/2016)	Tidak ada Pelepasan							
20 (16/05/2016 – 22/05/2016)	17/5/2016	40	Co-60 Zn-65	6,17 13,84	2,47 x 10 <sup>5</sup> 5,54 x 10 <sup>5</sup>	Co-60 Zn-65	2,47 x 10 <sup>5</sup> 5,54 x 10 <sup>5</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup> 1,26 x 10 <sup>9</sup>
21 (23/05/2016 – 29/05/2016)	24/5/2016	30	Co-60 Zn-65 Cs-137	7,83 6,03 24,40	2,35 x 10 <sup>5</sup> 1,81 x 10 <sup>5</sup> 7,32 x 10 <sup>5</sup>	Co-60 Zn-65 Cs-137	2,35 x 10 <sup>5</sup> 1,81 x 10 <sup>5</sup> 7,32 x 10 <sup>5</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup> 1,26 x 10 <sup>9</sup> 7,57 x 10 <sup>8</sup>
22 (30/05/2016 – 05/06/2016)	Tidak ada pelepasan							
23 (06/06/2016 – 12/06/2016)	Tidak ada pelepasan							

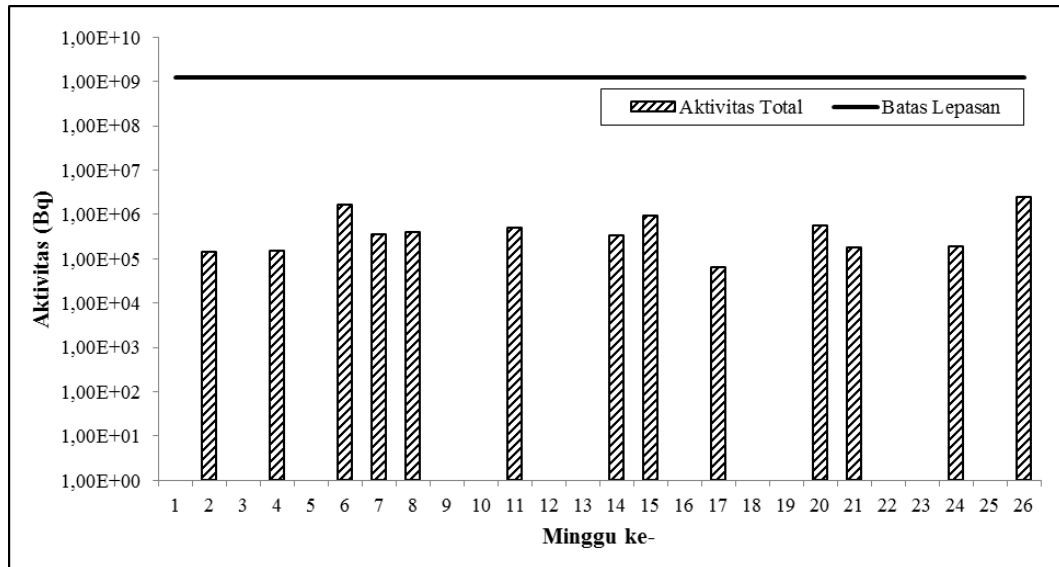
Minggu ke- (tanggal)	Tanggal Pelepasan	Volume (m <sup>3</sup> )	Pelepasan Per Batch			Pelepasan Per Minggu		Batas Lepas per Minggu (Bq)
			Radionuklida	Konsentrasi Aktivitas (Bq/L)	Aktivitas Total (Bq)	Radionuklida	Aktivitas Total (Bq)	
24 (13/06/2016 – 19/06/2016)	15/6/2016	42,5	Co-60	3,44	1,38 x 10 <sup>5</sup>	Co-60	1,38 x 10 <sup>5</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup>
			Zn-65	4,28	1,82 x 10 <sup>5</sup>	Zn-65	1,82 x 10 <sup>5</sup>	1,26 x 10 <sup>9</sup>
			Cs-137	3,14	1,33 x 10 <sup>5</sup>	Cs-137	1,33 x 10 <sup>5</sup>	7,57 x 10 <sup>8</sup>
25 (20/06/2016 – 26/06/2016)	Tidak ada pelepasan							
26 (27/06/2016 – 03/07/2016)	28/6/2016	40	Co-60	22,84	9,14 x 10 <sup>5</sup>	Co-60	9,69 x 10 <sup>5</sup>	2,19 x 10 <sup>8</sup>
			Zn-65	24,68	9,87 x 10 <sup>5</sup>			
			Cs-137	2,88	1,15 x 10 <sup>5</sup>			
	30/6/2016	20	Co-60	2,76	5,52 x 10 <sup>4</sup>	Zn-65	2,37 x 10 <sup>6</sup>	1,26 x 10 <sup>9</sup>
Zn-65			69,36	1,39 x 10 <sup>6</sup>	Cs-137	1,15 x 10 <sup>5</sup>	7,57 x 10 <sup>8</sup>	

Tiap radionuklida yang dilepas ke badan air perlu dievaluasi signifikansinya terhadap batas lepasan. Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan signifikansi aktivitas total lepasan per minggu dari Co-60, Zn-65 dan Cs-137 terhadap batas lepasan. Untuk Co-60, aktivitas total maksimum pelepasan per minggu terjadi pada minggu ke-26 sebesar 9,69 x 10<sup>5</sup> Bq atau 0,44% dari batas lepasan. Aktivitas total rata-rata pelepasan per minggu Co-60 selama semester I tahun 2016 sebesar 1,79 x 10<sup>5</sup> Bq atau 0,08% dari batas lepasan. Aktivitas total maksimum pelepasan per minggu dari Zn-65 juga terjadi pada minggu ke-26 sebesar 2,37 x 10<sup>6</sup> Bq atau 0,19% dari batas lepasan, sedangkan aktivitas total rata-ratanya sebesar 2,98 x 10<sup>5</sup> Bq atau 0,02% dari batas lepasan. Aktivitas total maksimum pelepasan per minggu dari Cs-137 terjadi pada minggu ke-6 sebesar 8,64 x 10<sup>5</sup> Bq atau 0,11% dari batas lepasan, sedangkan aktivitas total rata-ratanya sebesar 9,38 x 10<sup>4</sup> Bq atau 0,01% dari batas lepasan.

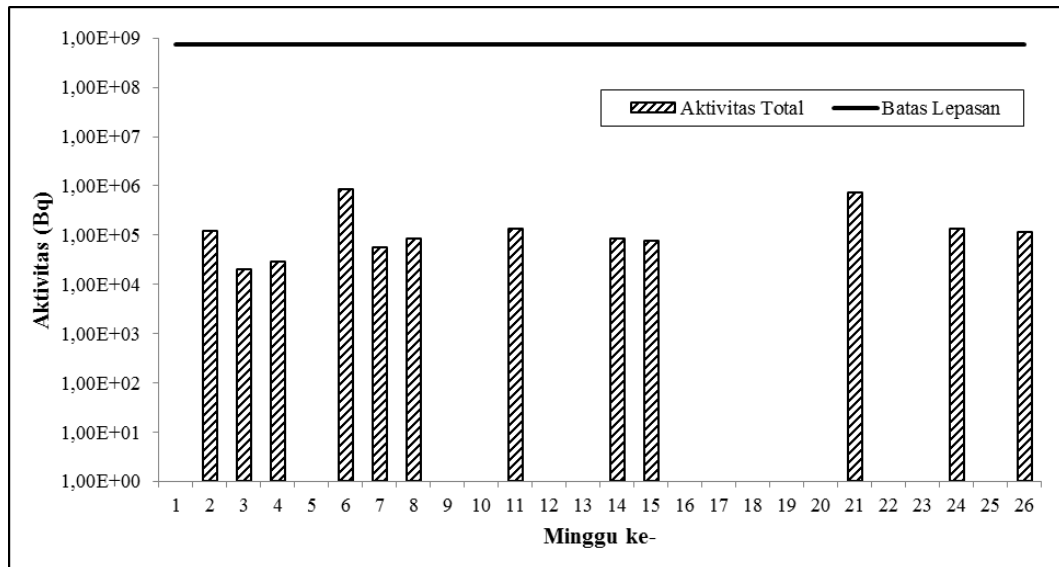


Gambar 2. Perbandingan antara Aktivitas Total dan Batas Lepas untuk Co-60





Gambar 3. Perbandingan antara Aktivitas Total dan Batas Lepas untuk Zn-65



Gambar 4. Perbandingan antara Aktivitas Total dan Batas Lepas untuk Cs-137

Dengan kecilnya rasio aktivitas total pelepasan terhadap batas lepasan per minggu untuk tiap radionuklida, dapat dipastikan bahwa batas lepasan tahunan pada Tabel 1 juga tidak akan terlewati. Adapun batas lepasan tahunan untuk Co-60, Zn-65 dan Cs-137 berturut-turut sebesar  $1,14 \times 10^{10}$  Bq;  $6,55 \times 10^{10}$  dan  $3,94 \times 10^{10}$  Bq. Hal ini dapat dikonfirmasi dengan menjumlahkan aktivitas total selama semester I untuk setiap radionuklida. Aktivitas total pelepasan semester I untuk Co-60, Zn-65 dan Cs-137 berturut-turut sebesar  $4,65 \times 10^6$  Bq;  $7,76 \times 10^6$  Bq dan  $2,44 \times 10^6$  Bq. Dengan kata lain, perbandingan antara aktivitas total selama semester I dan kuota batas lepasan tahunan yang diizinkan untuk Co-60, Zn-65 dan Cs-137 berturut-turut sebesar 0,04%; 0,01% dan 0,01%.

Kecilnya rasio antara aktivitas total dan batas lepasan per radionuklida juga dapat dijadikan perkiraan awal bahwa rasio penjumlahan pada persamaan (2) untuk radionuklida campuran tidak akan melebihi nilai 1. Dalam hal memastikan hal tersebut, dibuat suatu tabel rasio penjumlahan per minggu untuk memverifikasi keberterimaan persamaan (2), seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Jumlah rasio radionuklida campuran maksimum selama semester I terjadi pada minggu ke-6 sebesar 0,00647.

**Tabel 3.** Rasio Penjumlahan untuk Radionuklida Campuran

Minggu ke-	Rasio Penjumlahan	Minggu ke-	Rasio Penjumlahan
1	0,00000	14	0,00322
2	0,00067	15	0,00261
3	0,00025	16	0,00000
4	0,00072	17	0,00030
5	0,00000	18	0,00000
6	0,00647	19	0,00000
7	0,00134	20	0,00157
8	0,00130	21	0,00218
9	0,00000	22	0,00000
10	0,00000	23	0,00000
11	0,00257	24	0,00095
12	0,00000	25	0,00000
13	0,00000	26	0,00646

## KESIMPULAN

Penerapan nilai batas lepasan radioaktivitas di KNS memerlukan beberapa tahapan penting, yaitu pengambilan sampel efluen pada kolam PBT, pengukuran konsentrasi aktivitas, estimasi aktivitas total dan perbandingan dengan batas lepasan spesifik tapak. Efluen radioaktif cair di KNS selama semester I tahun 2016 mengandung tiga radionuklida, yaitu Co-60, Zn-65 dan Cs-137. Aktivitas total pelepasan efluen per minggu tidak signifikan dibandingkan dengan batas lepasan, di mana perbandingannya tidak lebih dari 0,44%. Hal tersebut menunjukkan bahwa lepasan efluen radioaktif cair KNS berada pada tingkat keselamatan yang diizinkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh satuan kerja penghasil efluen radioaktif cair atas kerja samanya yang baik dalam pengaliran efluen ke kolam PBT, serta kepada seluruh staf Subbidang Pemantauan Lingkungan dan Kedaruratan, Bidang Pemantauan Dosis Personel dan Lingkungan, PPIKSN, BATAN yang telah membantu dalam pengendalian dan pengawasan efluen radioaktif cair melalui sistem PBT.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Tenaga Nuklir Nasional, “Dokumen Teknis Paket Teknologi Sistem Pemantauan Kontinyu Radiasi Udara Ambien Reaktor dan Fasilitas Nuklir,” 2015.
- [2] Badan Tenaga Nuklir Nasional, “Dokumen Kajian Nilai Batas Lepasn Radioaktif ke Lingkungan Kawasan Nuklir Serpong,” 2015.
- [3] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, “Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor SK.63/Menlhk/Setjen/PKTL.4/2/2016 tentang Perubahan Izin Lingkungan Kegiatan Operasional Kawasan Nuklir Serpong dan Irradiator serta Fasilitas Lainnya di Kawasan Nuklir Serpong”.
- [4] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 Tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan”.

- [5] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, “Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir”.
- [6] Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir BATAN, “Standar Operasional Prosedur Pengambilan Sampel Air Lingkungan, SOP 177.003/KN 04 02/ISN 5.2,” 2015.
- [7] Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir BATAN, “Standar Operasional Prosedur Pengoperasian dan Perawatan Spektrometer Gamma, SOP 183.003/KN 04 02/ISN 5.2,” 2015.
- [8] Pusat Pendayagunaan Informatika dan Kawasan Strategis Nuklir BATAN, “Standar Operasional Prosedur Analisis Spektrometer Gamma, SOP 168.003/KN 04 02/ISN 5.2,” 2015.