

KAJIAN PENETAPAN NILAI PEMBATAS DOSIS PEKERJA RADIASI DI PSTNT

Rini Heroe Oetami¹, Afida Ikawati¹, Tri Cahyo Laksono¹

¹Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT),
Jl. Tamansari No.71, Bandung, 40132

E-mail : rini@batan.go.id

Diterima: 05-01-2020

Diterima dalam bentuk revisi: 13-01-2020

Disetujui: 30-03-2020

ABSTRAK

KAJIAN PENETAPAN NILAI PEMBATAS DOSIS PEKERJA RADIASI DI PSTNT. Telah dilakukan Kaji Ulang Penetapan Nilai Pembatas Dosis (NPD) Pekerja Radiasi yang telah berlaku sejak tahun 2014 di PSTNT. Beroperasinya kembali reaktor TRIGA 2000 secara rutin sejak tahun 2017 meningkatkan volume kegiatan laboratorium RISB dan AAN. Peningkatan volume kegiatan tersebut menyebabkan peningkatan terimaan paparan radiasi dan berakibat pada meningkatnya terimaan dosis akumulasi Pekerja Radiasi di PSTNT, sehingga perlu dilakukan kaji ulang terhadap NPD Pekerja Radiasi di PSTNT. Tujuan dari kaji ulang NPD adalah untuk memperbaharui nilai pembatas dosis yang telah ada sebelumnya (15 mSv/tahun). Kaji ulang dilakukan dengan menginventarisasi: jenis kegiatan dengan sumber bahaya potensial di reaktor dan laboratorium radiasi, terimaan dosis pekerja radiasi selama 4 tahun (2015 – 2018) dan membandingkan jenis kegiatan dengan sumber bahaya potensial dengan terimaan dosis pekerja radiasi rata-rata. Peningkatan kegiatan di PSTNT mengakibatkan semakin meningkatnya terimaan dosis akumulasi rata-rata, dosis maksimum tahunan dan dosis kolektif dari tiap bidang di PSTNT. Meningkatnya dosis tersebut menunjukkan kecenderungan Nilai Batas dosis (NBD) dapat dilampaui dan resiko radiasi bagi para pekerja juga akan semakin meningkat. Untuk menurunkan resiko radiasi bagi Pekerja Radiasi maka nilai NBD tidak boleh dilampaui sehingga perlu dilakukan penurunan NPD dari 15 mSv/tahun menjadi 10 mSv/tahun.

Kata kunci: pembatas dosis, optimisasi, nilai batas dosis

ABSTRACT

DETERMINATION OF DOSE CONSTRAINT FOR RADIATION WORKERS IN PSTNT. The determination of dose constraint for radiation workers had been established since 2014 at PSTNT. The routine operation of the TRIGA 2000 reactor since 2017 has increased the volume of RISB and AAN laboratoy activities. The increase in the volume of activities causes an increase in radiation exposure and results in an increase in the occupational dose in the PSTNT, so determination of the value of the dose constraint for the Radiation Workers in the PSTNT is needed. The purpose of reviewing the dose constraint value is to update pre-existing dose-limiting values (15 mSv/year). The review is carried out by inventorying: types of activities with potential radiation hazards sources in the reactors and laboratories, occupational dose of radiation workers for 4 years (2015 - 2018) dan comparing the types of activities with potential hazard sources with average of occupational dose. The increase in activities in the PSTNT results in the increasing of the average occupational dose, the maximum annual dose and the collective dose of each division in the PSTNT shows the tendency of the Dose Limit (NBD) to be exceeded and the radiation risk for workers will also increase. To reduce the risk of radiation hazars, the Dose Limit (NBD) value should not be exceeded therefore the Dose Constraint for radiation workers (NPD) should be reduced from 15 mSv /year to 10 mSv/year.

Key words: dose constraint, optimization, dose limit

1. PENDAHULUAN

Setelah terhenti beroperasi rutin cukup lama sejak tahun 2006 dan mengalami berbagai perbaikan dan perawatan, bahkan peningkatan kekuatan pengungku struktur gedung, reaktor TRIGA 2000 telah beroperasi kembali secara rutin sejak tahun 2017. Untuk mencapai tujuan keselamatan radiasi, di Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) telah ditetapkan Program Proteksi Radiasi Reaktor TRIGA 2000, dokumen No: R 003/KN 02 03/SNT 5.1 yang dimaksudkan untuk menerapkan proteksi radiasi bagi pekerja radiasi di PSTNT [1]. Di dalam Program Proteksi Radiasi tersebut pada bab IV.1. telah ditetapkan Nilai Pembatas Dosis (NPD) untuk Pekerja Radiasi sebesar 15 mSv/tahun. NPD ini telah digunakan sejak tahun 2014 dan belum mendapatkan kajian ulang untuk penerapannya.

Beroperasinya kembali reaktor TRIGA 2000 secara rutin sejak 2017 menyebabkan semakin meningkatnya pemanfaatan reaktor untuk iradiasi target dan berdampak kepada meningkatnya volume kegiatan penelitian dengan zat radioaktif hasil iradiasi dari laboratorium Radioisotop dan Senyawa Bertanda (RISB) dan laboratorium Analisis Aktivasi Neutron (AAN) di PSTNT.

Semakin sering iradiasi target dilakukan akan semakin sering petugas operasi yang terdiri dari supervisor, operator, petugas proteksi radiasi dan petugas perawat reaktor yang mendapatkan paparan radiasi dan akan meningkatkan terimaan dosis pekerja radiasi (occupational dose). Target hasil iradiasi dari reaktor selanjutnya

diproses oleh pengguna yaitu para peneliti di bidang Senyawa Bertanda dan Radiometri. Sampel target pasca iradiasi biasanya memiliki tingkat radioaktivitas yang masih sangat tinggi saat dikeluarkan dari teras reaktor, dengan demikian semakin sering petugas pengoperasi dan peneliti melakukan kegiatan iradiasi sampel dan memproses sampel target di laboratorium RISB atau AAN maka akan semakin meningkat dosis akibat kerja yang diterimanya.

Dalam melaksanakan fungsi pengawasan keselamatan radiasi, Kepala PSTNT wajib menerapkan persyaratan Proteksi Radiasi yang meliputi Justifikasi, Optimisasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi dan Limitasi dosis [2]. Justifikasi, semua kegiatan yang memungkinkan menimbulkan paparan pada individu harus dijustifikasi dan disetujui setelah melalui proses penilaian keselamatan sebelum kegiatan tersebut dilaksanakan. Optimisasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi, besarnya dosis individu, jumlah orang yang terpapar, dan kemungkinan terjadinya bencana karena radiasi, harus dibuat serendah mungkin, setelah memperhitungkan faktor ekonomi dan sosial (ALARA). Limitasi dosis, dosis individu yang disebabkan oleh kombinasi paparan dari semua kegiatan di PSTNT tidak boleh melampaui nilai batas dosis efektif dan dosis ekuivalen yang direkomendasikan oleh badan pengawas [3].

Merupakan Tugas Pemegang Izin untuk memastikan bahwa suatu kegiatan operasi tersebut aman dari sudut pandang keselamatan nuklir dan proteksi radiasi [4]. Optimisasi Proteksi dan Keselamatan

Radiasi harus dilaksanakan oleh Pemegang Izin melalui penetapan Pembatas Dosis; dan/atau tingkat panduan untuk Paparan Medik meliputi Pembatas Dosis untuk Pekerja Radiasi dan anggota masyarakat. Pembatas Dosis untuk Pekerja Radiasi ditetapkan oleh Pemegang Izin dengan persetujuan Kepala BAPETEN [5].

Dengan telah ditetapkannya NPD 15 mSv/tahun dan semakin meningkatnya frekuensi pengoperasian reaktor TRIGA 2000 dan kegiatan penelitian di PSTNT maka kemungkinan peningkatan terimaan dosis pekerja radiasi akan semakin meningkat dan Nilai Batas Dosis (NBD) 20 mSv/tahun dapat dengan cepat dicapai bahkan dilampaui yang berarti resiko kesehatan pekerja radiasi dapat semakin besar jika terimaan dosis tidak dikendalikan. Dengan meninjau ulang nilai NPD PSTNT dan menetapkan NPD hasil kajian diharapkan terimaan dosis pekerja radiasi akan dapat tetap dikendalikan dan resiko kesehatan dapat dikurangi walaupun kegiatan di reaktor, laboratorium RISB dan AAN meningkat.

Pembuatan makalah ini bertujuan untuk mengkaji nilai NPD untuk Pekerja Radiasi yang telah lama digunakan (15 mSv/tahun) dan menetapkan NPD yang baru untuk Pekerja Radiasi sebagai bagian dari prinsip optimisasi Proteksi dan Keselamatan. tidak dilampaui dalam distribusi dosis perorangan terestimasi yang dihasilkan dari proses optimisasi.

Penggunaan pembatas dosis bersifat prospektif, sehingga diterapkan dalam perencanaan proteksi radiasi dalam semua situasi dimana optimisasi proteksi radiasi

dilakukan, misalnya dalam perancangan atau modifikasi fasilitas atau instalasi, persiapan operasi/kegiatan, dan lain-lain. Meskipun pembatas dosis dinyatakan dalam dosis perorangan, ini merupakan suatu besaran terkait dengan sumber yang ditujukan kepada sumbernya, pemanfaatan tenaga nuklir atau tugas dimana proses optimisasi sedang diterapkan.

Ada beberapa ketentuan yang harus dipahami dalam menerapkan konsep pembatas dosis, diantaranya :

- a. Pembatas Dosis bukan merupakan batas dosis.
- b. Pembatas Dosis merupakan bagian dari proses optimisasi.
- c. Pembatas Dosis digunakan secara prospek.
- d. NPD untuk pekerja ditentukan oleh pemegang izin.
- e. NPD untuk anggota masyarakat ditentukan oleh BAPETEN.

NPD adalah sebuah nilai prospektif dosis individu atau risiko (yaitu pembatas atau pembatas risiko) yang digunakan dalam situasi paparan direncanakan sebagai parameter untuk optimisasi perlindungan dan keselamatan [4,8]. Batas dosis tidak diterapkan dalam situasi paparan darurat dan paparan medis.

Ini berfungsi untuk mengatur berbagai pilihan dalam mengoptimalkan perlindungan dan keselamatan untuk sumbernya.

Menguraikan secara rinci untuk memperjelas latar belakang penelitian yang diungkapkan pada bagian pendahuluan dan mempermudah uraian yang akan disampaikan pada bagian hasil dan

pembahasan.

2. TATA KERJA

Kaji ulang NPD Pekerja Radiasi di PSTNT dilakukan dengan memantau situasi radiologik di reaktor dan laboratorium radiasi. Selain memantau situasi radiologik juga dilakukan pemantauan terimaan dosis pekerja radiasi. Peralatan yang digunakan adalah: surveimeter Babyline model 2517, surveimeter Identifinder RT 60, pemantau kontaminasi Radiagem, pocket dosimeter dan TLD badge. Selain peralatan tersebut diatas digunakan pula Gamma Area Monitor G-64 Canberra yang terpasang di Ruang Kendali reaktor, dek reaktor dan di dinding gedung reaktor sisi timur dan sisi selatan.

Kepada pekerja radiasi diberikan dosimeter termoluminesensi (TLD) yang digunakan selama berada atau bekerja di medan radiasi. TLD mengukur dosis ekuivalen perorangan yang diterima oleh pekerja dengan menggunakan prinsip termoluminesensi.

Selain dosis pekerja radiasi dari setiap bidang dipantau, juga dilakukan pengendalian daerah kerja dengan melakukan pemantauan laju dosis daerah kerja, pemantauan tingkat kontaminasi permukaan ruang kerja.

Menurut Persyaratan Proteksi Radiasi, desain fasilitas reaktor penelitian harus dipastikan bahwa dosis radiasi untuk pekerja dan personil lainnya di fasilitas reaktor penelitian serta untuk anggota masyarakat tidak melebihi batas dosis yang dapat diterima dan paparan radiasi dipertahankan serendah mungkin sewajarnya yang dapat

dicapai (ALARA) selama waktu hidup dan masa pakai reaktor [9].

Untuk mengkaji ulang NPD Pekerja Radiasi di PSTNT dilakukan dengan cara [4]:

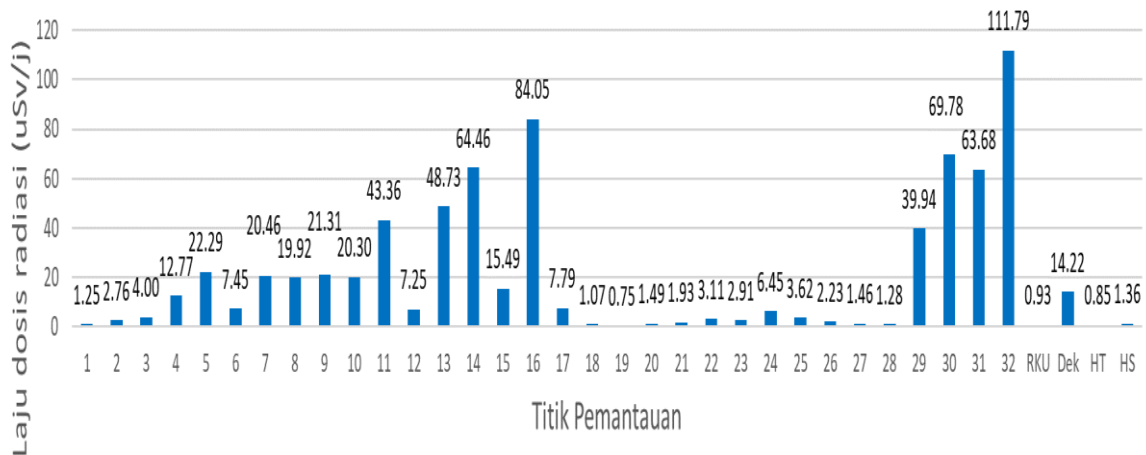
- a. Menginventarisasi jenis kegiatan dengan sumber bahaya potensial di reaktor dan laboratorium radiasi pendukungnya di PSTNT. Daerah radiasi di PSTNT yang termasuk daerah pengendalian adalah reaktor, laboratorium SBR dan AAN. Di dalam daerah ini selama tahun 2019 dilakukan pemantauan laju dosis dan tingkat kontaminasi untuk mendukung kaji ulang nilai pembatas dosis di PSTNT.
- b. Mengamati nilai terimaan dosis pekerja radiasi di PSTNT selama 4 tahun dan menghitung rata-rata terimaan dosis pekerja radiasi pertahun. Selama tahun 2015 sampai dengan tahun 2018 telah dilakukan pengamatan terimaan dosis pekerja radiasi dari bidang K3, Reaktor, Teknofisika dan bidang SBR meliputi besaran dosis rata-rata, dosis maksimum dan dosis kolektif.
- c. Membandingkan jenis kegiatan dengan sumber bahaya potensial dengan terimaan dosis pekerja radiasi rata-rata. Kegiatan yang potensial di daerah pengendalian di PSTNT adalah pengoperasian reaktor, proses penelitian untuk pembuatan radiofarmaka.
- d. Menentukan Nilai Pembatas Dosis. Pembatas Dosis ditentukan dengan mempertimbangkan 3 poin terdahulu untuk tercapainya ALARA yang dapat diterapkan di PSTNT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

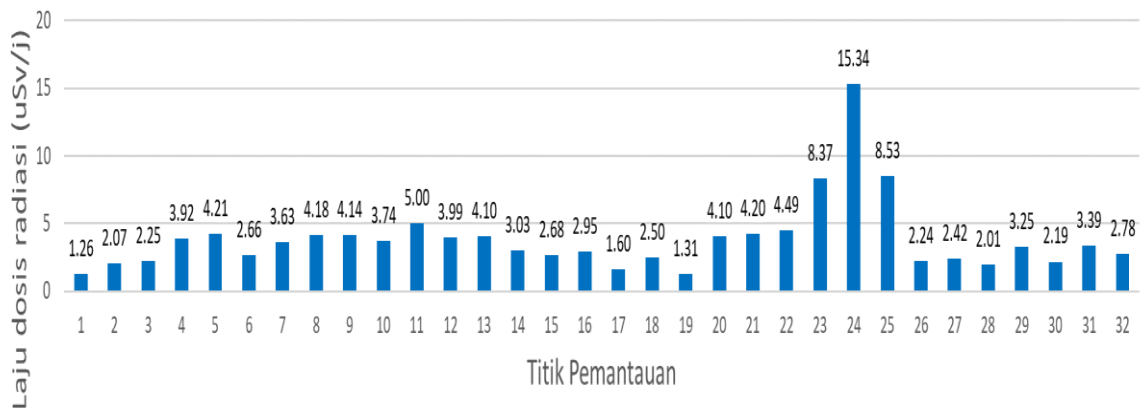
Situasi radiologik di PSTNT meliputi kondisi radiologik di daerah pengendalian yaitu di ruang reaktor, laboratorium RISB dan AAN. Kegiatan dengan sumber bahaya potensial di reaktor adalah pengoperasian rutin reaktor TRIGA 2000 dan proses pengeluaran target hasil iradiasi.

Pada kedua kegiatan ini potensi paparan radiasi sangat meningkat dibandingkan dengan kegiatan lain seperti perawatan reaktor karena reaktor dalam posisi shut down dan tidak ada target hasil iradiasi.

Di laboratorium RISB dan AAN sumber bahaya potensial ada pada saat kegiatan memproses radioisotop dan penelitian dengan menggunakan fasilitas pneumatic. Pada kedua kegiatan ini paparan radiasi akan lebih banyak terjadi karena target hasil iradiasi baik dari teras reaktor maupun dari fasilitas pneumatik biasanya memiliki radioaktivitas yang sangat tinggi. Hasil pemantauan radiasi di reaktor selama tahun 2019 untuk laju dosis radiasi neutron dan gamma masing-masing ditunjukkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Laju dosis radiasi gamma di reaktor selama tahun 2019.



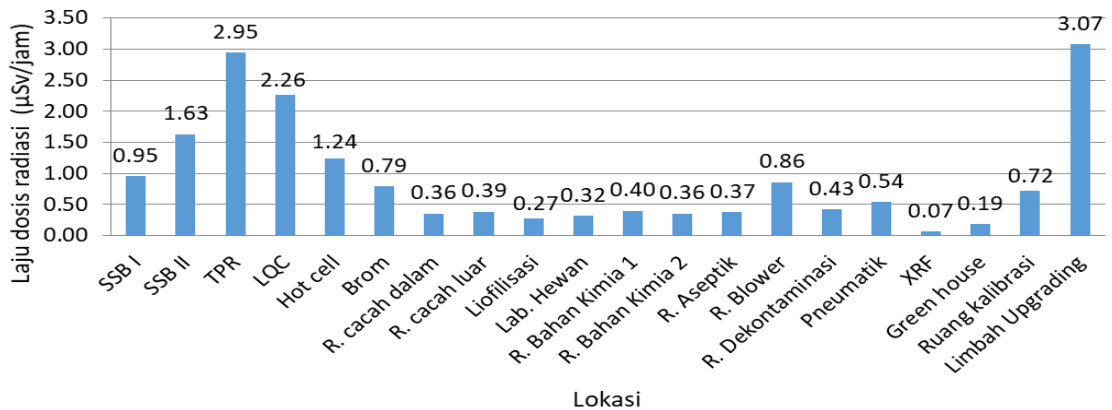
Gambar 2. Laju dosis radiasi neutron di reaktor selama tahun 2019.

Laju dosis radiasi neutron dan gamma ini merupakan situasi pada pengoperasian reaktor TRIGA 2000, di 36 titik pemantauan. Selama tahun 2019 pemantauan laju dosis radiasi gamma terpantau tertinggi mencapai 111,79 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ di titik 32 dan untuk neutron tertinggi mencapai 15,34 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ di titik 24.

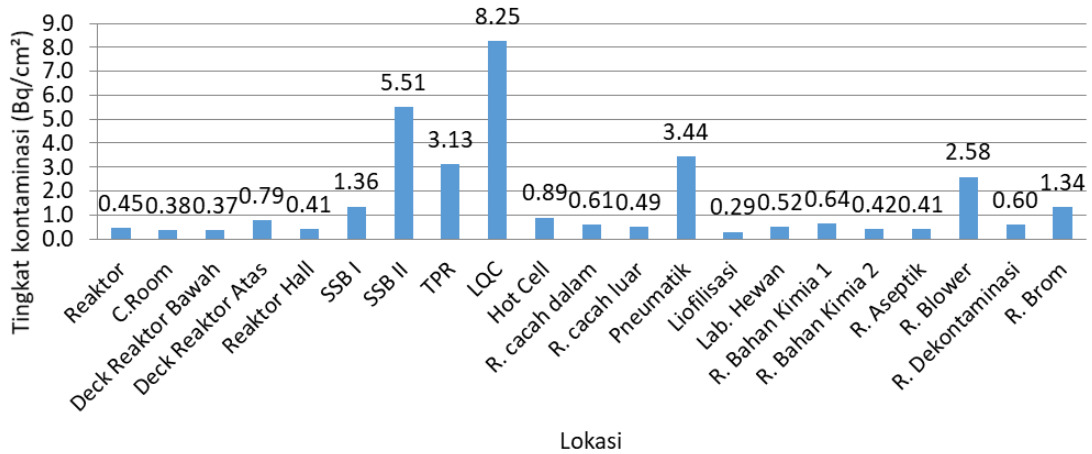
Selain di reaktor, pemantauan laju dosis di berbagai laboratorium RISB, AAN dan fasilitas penyimpanan limbah radioaktif sisa up grading dapat dilihat di dalam Gambar 3. Laboratorium RISB terdiri dari laboratorium Teknologi Proses Radioisotop (TPR), Senyawa Bertanda (SB) I, SB II,

Laboratorium Quality Control (LQC), Hot Cell, laboratorium Brom, ruang cacah dalam, ruang cacah luar, ruang liofilisasi, ruang bahan kimia 1, ruang bahan kimia 2, ruang aseptik dan ruang blower.

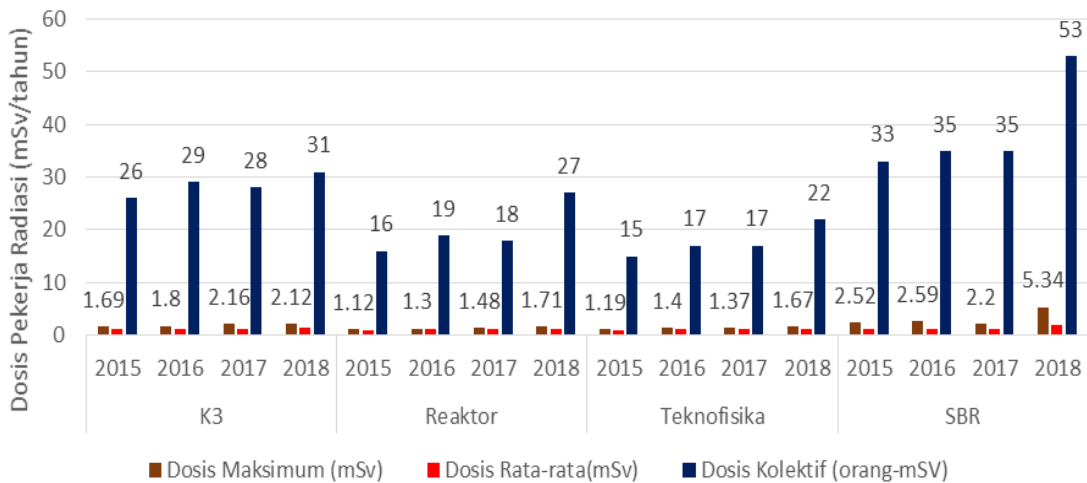
Dari berbagai pengukuran laju dosis di fasilitas yang tercantum dalam Gambar 3, laju dosis tertinggi adalah di fasilitas penyimpanan limbah radioaktif sisa up grading (3,07 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$) sedangkan di TPR laju dosis tertinggi mencapai 2,95 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Dari gambar 3 ini juga menunjukkan 20 laboratorium atau fasilitas dengan potensi bahaya radiasi.



Gambar 3. Laju dosis radiasi gamma di daerah pengendalian PSTNT tahun 2019



Gambar 4. Tingkat kontaminasi di reaktor dan laboratorium RISB PSTNT tahun 2019



Gambar 5. Terimaan Dosis Pekerja Radiasi di PSTNT tahun 2015 – 2018

Gambar 4. Menunjukkan tingkat kontaminasi di reaktor dan laboratorium RISB di PSTNT selama tahun 2019. Dari Gambar 4 ditunjukkan bahwa seluruh laboratorium RISB dan reaktor berpotensi mengalami kontaminasi radioaktif yang berpotensi menyebabkan resiko radiasi bagi pekerja radiasi. Tingkat kontaminasi di seluruh laboratorium aktif selama tahun 2019 berkisar antara 0,29 – 8,25 Bq/cm².

Untuk setiap pekerja yang biasanya atau

sesekali bekerja di daerah pengendalian dapat menerima dosis yang signifikan akibat paparan pekerjaan sehingga pemantauan untuk individu tersebut harus dilakukan dengan tepat dan memadai [9].

Peningkatan jam operasi di reaktor dan semakin banyaknya sampel yang diiradiasi serta meningkatnya volume kegiatan di laboratorium radiasi menyebabkan terimaan dosis pekerja radiasi juga akan meningkat [10]. Di dalam Program

Proteksi Radiasi PSTNT diacu Nilai Batas Dosis (NBD) untuk pekerja radiasi. Dosis efektif rata-rata sebesar 20 mSv per tahun dalam periode 5 (lima) tahun, sehingga dosis yang terakumulasi dalam 5 (lima) tahun tidak boleh melebihi 100 mSv. Dosis Efektif sebesar 50 mSv dalam 1 (satu) tahun tertentu [11].

Gambar 5 menunjukkan profil terimaan dosis pekerja radiasi di PSTNT tahun 2015 – 2018. Dari hasil pemantauan terimaan dosis pekerja radiasi selama tahun 2015 sampai dengan 2018 untuk pekerja radiasi, dapat dilihat bahwa dosis maksimum untuk setiap bidang cenderung meningkat sejak tahun 2015.

Rentang nilai dosis maksimum untuk personel bidang selama tahun 2015 sampai 2018 adalah bidang K3 antara 1,69 – 2,12 mSv, Reaktor antara 1,12 – 1,71 mSv, Teknofisika antara 1,19 – 1,67 mSv dan bidang SBR antara 2,52 – 5,34 mSv.

Rentang nilai dosis rata-rata untuk personel bidang selama tahun 2015 – 2018 adalah bidang K3 antara 1,18 – 1,34 mSv, Reaktor antara 0,94 – 1,27 mSv, Teknofisika antara 0,94 – 1,31 mSv dan bidang SBR antara 1,23 – 2,04 mSv.

Rentang nilai dosis kolektif untuk bidang K3 antara 0,026 – 0,031 orang-Sievert, Reaktor antara 0,016 – 0,027 orang-Sievert, Teknofisika antara 0,015 – 0,022 orang-Sievert dan SBR antara 0,033 - 0,053 orang-Sievert.

Melihat kepada hasil pemantauan terimaan dosis pekerja radiasi di PSNT terdapat kecenderungan bahwa pekerja radiasi di PSTNT menerima dosis yang semakin meningkat dari tahun 2015 sampai 2018. Didukung oleh hasil pemantauan laju dosis dan

tingkat kontaminasi di reaktor dan laboratorium radiasi, yang menunjukkan bahwa potensi bahaya radiasi perlu dikendalikan dengan melakukan optimisasi melalui penilaian situasi papara. Penilaian situasi paparan di PSTNT bertujuan untuk menjelaskan, setepat yang diperlukan, situasi yang melibatkan paparan kerja untuk semua aspek operasi:

- a. Identifikasi sumber yang secara rutin dan dapat diperkirakan sebagai paparan potensial;
- b. Perkiraan realistis dari dosis yang relevan dan probabilitasnya;
- c. Identifikasi tindakan perlindungan radiologik yang diperlukan untuk memenuhi prinsip optimisasi

Optimisasi pada prakteknya adalah bagian yang paling penting, dari sistem pembatasan dosis karena ketergantungan pada batas dosis tidak cukup untuk mencapai tingkat proteksi yang dapat diterima.

Walaupun laju dosis yang dipantau pada tahun 2019 menunjukkan nilai yang tidak melampaui Batas Keselamatan Operasi (BKO) yaitu 10 μ Sv/jam di ruang kendali dan 625 μ Sv/jam di atas permukaan tangki reaktor, akan tetapi di PSTNT sebagai sebuah instalasi nuklir juga memiliki kegiatan dengan resiko paparan kerja yang tinggi, diantaranya untuk di reaktor adalah kegiatan reshuffling bahan bakar, perawatan sistem, struktur dan komponen (SSK) reaktor, penggantian resin dari perangkat pemurnian air dan dekomisioning parsial seperti yang pernah dilakukan pada kegiatan peningkatan daya.

Untuk laboratorium RISB dan AAN

kegiatan akan menjadi lebih tinggi resiko bahaya radiasi jika proses kegiatan menggunakan radioaktivitas sumber radiasi yang lebih besar, biasanya terjadi pada proses Brom.

Potensi bahaya radiasi tersebut yang harus diantisipasi dengan memberlakukan sistem pembatas dosis, diantaranya yaitu menetapkan NPD. Dengan melihat kepada potensi bahaya radiasi di reaktor dan laboratorium radiasi dan kecenderungan kenaikan dosis pekerja radiasi (dosis rata-rata, dosis maksimum individu dan dosis kolektif) maka untuk mengurangi resiko radiasi dari situasi radiologik yang ada di PSTNT dari kaji ulang ini NPD sebesar 15 mSv/tahun yang telah ditetapkan sebelumnya dapat diturunkan menjadi 10 mSv/tahun.

4. KESIMPULAN.

Dari hasil pengkajian situasi radiologik di daerah pengendalian PSTNT pada tahun 2019 dan data dosis pekerja radiasi selama tahun 2015 sampai dengan 2018 dapat disimpulkan bahwa nilai pembatas dosis untuk Pekerja Radiasi di PSTNT perlu diperbaharui. Peningkatan kegiatan di PSTNT mengakibatkan semakin meningkatnya terimaan dosis rata-rata, dosis akumulasi maksimum tahunan dan dosis kolektif dari tiap bidang di PSTNT menunjukkan NBD dapat dilampaui dan resiko radiasi bagi para pekerja semakin meningkat. Untuk menurunkan resiko radiasi bagi Pekerja Radiasi maka nilai NBD tidak boleh dilampaui, sehingga perlu dilakukan penurunan NPD dari 15 mSv/tahun menjadi 10 mSv/tahun. Dengan melakukan optimisasi maka diharapkan penerapan ALARA di PSTNT akan lebih optimum.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih diucapkan kepada kepala Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT) – BATAN dan penanggung jawab (PJ) kegiatan yang telah memberi kepercayaan pada kami untuk melaksanakan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Oetami, R H. Program Proteksi Radiasi Reaktor TRIGA 2000, Dokumen No. R 003/KN 02 03/SNT 5.1, PSTNT, Bandung, 2017.
2. Pemerintah Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan Sumber Radioaktif, Jakarta, 2007.
3. Oetami R H, Pamungkas S N, Laksono T C, Sofyan S, Wiratmo J. Pengelolaan Limbah Radioaktif Reflektor TRIGA Mark II – Bandung, Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2015 Aula Timur ITB - Bandung, 2015.
4. BAPETEN. Seri Pedoman Teknis, Pedoman Umum Optimisasi Proteksi Radiasi Untuk Pengendalian Paparan Kerja. BAPETEN, Jakarta, 2013.
5. BAPETEN. Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir. BAPETEN, Jakarta, 2013.
6. IAEA. No. NS-G-4.6 Radiation Protection and Radioactive waste Management in the design and Operation of Research Reactor, Safety Standard Series No. NS-

-
- G-4.6. IAEA, Vienna, 2008.
7. IAEA. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3). Basic Saf Stand Int At Energy Agency Vienna. 2014;3:471. 5
8. IAEA. Safety Standards for protecting people and the environment General Safety Guide No. GSG-7 Occupational Radiation Protection Jointly sponsored by. Gen Saf Guid Int At Energy Agency Vienna [Internet]. 2018;360. Available from: <http://www-ns.iaea.org/standards/> 9
9. IAEA. Safety Standards for protecting people and the environment Specific Safety Requirements No. SSR-3 Safety of Research Reactors. Specif Saf Requir Int At Energy Agency Vienna [Internet]. 2016;152. Available from: <http://wwwns.iaea.org/standards>
10. Oetami R H, Ikawati A, Supriatna D. Profile of Occupational Dose at TRIGA 2000 Nuclear Facility. Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology Journal, Bandung, 2019.
11. Oetami R H, Supriatna D, Ikawati A . Program Proteksi Radiasi Pada Pengoperasian Reaktor TRIGA 2000. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir 2017. PSTNT, Bandung, 2017.