

## EVALUASI DOSIS RADIASI PERSONIL TERHADAP KEGIATAN LABORATORIUM DI PTBBN TAHUN 2016

**Sjafruddin**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

### ABSTRAK

Evaluasi penerimaan dosis radiasi terhadap pesonil PTBBN selama satu tahun kegiatan kerja (tahun 2016) di laboratorium PTBBN (IEBE dan IRM) telah dilakukan untuk mengetahui kondisi keselamatan radiasi personil selama kegiatan tersebut. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis potensi bahaya radiasi yang menyertai kegiatan, melakukan pemantauan dosis radiasi eksternal dan internal pada personil dan membandingkan hasil pemantauan tersebut dengan ketentuan keselamatan radiasi yang diizinkan (NBD). Pemantauan dosis radiasi eksternal menggunakan dosimeter personil TLD, pemantauan dosis radiasi internal secara in-vivo dengan menggunakan WBC dan secara in-vitro melalui analisis urin. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penerimaan dosis radiasi personil selama kegiatan tahun 2016 masih jauh di bawah NBD. Berdasarkan data TLD, DEST personil tertinggi hanya 0,32 mSv (1,6 % dari NBD-tahunan sebesar 20 mSv) dan DEK personil tertinggi hanya 0,44 mSv (0,09% dari NBD-tahunan sebesar 500 mSv). Dosis dari in-vitro tertinggi sebesar 0,07 mSv (0,35% dari NBD-tahunan). Dari hasil perhitungan DET, penerimaan dosis individu tertinggi sebesar 0,32 mSv (1,6% dari NBD-tahunan). Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa selama pelaksanaan kegiatan di laboratorium IEBE dan IRM pada tahun 2016 tidak ada BKO keselamatan radiasi personil yang dilampaui. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kondisi keselamatan radiasi selama operasional IEBE dan IRM tahun 2016 masih cukup baik dan telah memenuhi ketentuan keselamatan operasional instalasi.

**Kata kunci:** radiasi eksternal, radiasi internal, TLD, in-vivo, in-vitro, DEST, DEK, DET, NBD, BKO.

### PENDAHULUAN

Penanganan zat-zat radioaktif atau bahan nuklir pada suatu instalasi nuklir seperti di Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) dan Instalasi Radiometalurgi (IRM) berpotensi bahaya radiasi terhadap personil yang menangani. Untuk kegiatan penelitian dan pengembangan (litbang) bahan bakar reaktor daya dan reaktor riset pra iradiasi, IEBE memanfaatkan bahan nuklir U dan Th, sedangkan IRM memanfaatkan bahan bakar nuklir bekas dan bahan pasca iradiasi lainnya untuk kegiatan litbang bahan bakar nuklir.

Pada kegiatan litbang di IEBE, penggunaan bahan nuklir U dalam bentuk serbuk penanganannya dapat menyebabkan kontaminasi di permukaan daerah kerja, udara dan pada tubuh personil sehingga berpotensi terhadap bahaya radiasi internal. Adapun potensi bahaya radiasi eksternal tidak begitu signifikan karena U dan Th pra iradiasi tidak memberikan paparan radiasi dosis tinggi dibandingkan dengan jumlah massa yang ditangani. Sebaliknya di IRM, kegiatan litbang menggunakan bahan bakar nuklir bekas dan bahan pasca iradiasi lainnya merupakan zat-zat radioaktif (sebagian besar produk fisi) yang dapat memberikan paparan radiasi- $\gamma$  sangat tinggi walaupun dalam jumlah massa sedikit, sehingga kondisi tersebut berpotensi terhadap bahaya radiasi eksternal. Potensi bahaya radiasi internal harus juga menjadi perhatian pada kegiatan di IRM karena

dalam proses penanganan zat-zat radioaktif dapat menyebabkan kontaminasi di permukaan, udara dan pada tubuh personil.

Dalam operasional IEBE dan IRM, potensi bahaya keradioaktifan dikendalikan melalui implementasi sistem keselamatan radiasi. Secara desain, pengendalian bahaya keradioaktifan diwujudkan dengan membangun fasilitas proses yang dapat mengungkung dan mengisolasi bahan atau zat radioaktif, seperti *fumehood*, *glovebox* dan *hotcell*, sistem ventilasi aktif dan pembagian daerah kerja. Saat operasional instalasi, pengendalian bahaya keradioaktifan dilakukan dengan cara pemantauan paparan radiasi- $\gamma$  (potensi bahaya radiasi eksternal), kontaminasi permukaan dan udara (potensi bahaya radiasi internal) dan pemantauan dosis radiasi personil pada saat mereka bekerja dengan sumber radiasi. Pengendalian bahaya keradioaktifan juga dilakukan dengan cara pemakaian alat pelindung diri (APD) dan dengan penerapan aturan keselamatan batas kondisi operasi (BKO), misal konsentrasi maksimum yang diizinkan (MPC) dan nilai batas dosis (NBD) seperti yang ditetapkan di dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK) instalasi nuklir<sup>[2,3]</sup>.

Potensi bahaya radiasi dalam kegiatan kerja di IEBE dan IRM selama tahun 2016 cukup signifikan dan perlu mendapat perhatian secara ketat dari segi keselamatan radiasi. Di IEBE khususnya operasional PCP (*Pilot Conversion Plant*), digunakan bahan *Yellow cake* dalam jumlah signifikan untuk proses pembuatan serbuk  $UO_2$ . Dalam proses tersebut berpotensi menyebabkan kontaminasi pada permukaan dan udara di daerah kerja sehingga dapat menyebabkan bahaya radiasi internal pada personil. Kegiatan dekontaminasi *hotcell* IRM yang telah dimulai sejak beberapa tahun yang lalu berpotensi menyebabkan kontaminasi permukaan dan udara, serta potensi penerimaan paparan radiasi dosis tinggi karena metoda yang digunakan dalam proses dekontaminasi memungkinkan kontak langsung (tanpa perisai yang signifikan) antara personil dan sumber radiasi. Bila penanganan bahan atau zat radioaktif pada proses kegiatan tersebut tidak memenuhi aturan keselamatan radiasi di daerah kerja aktif, personil-personil yang melaksanakan kegiatan dapat menerima dosis radiasi berlebih, baik dosis radiasi eksternal maupun internal. Selain kedua kegiatan penting tersebut, ada juga kegiatan lainnya di IEBE dan IRM dalam pelaksanaan program litbang, namun potensi bahaya radiasinya tidak begitu signifikan. Kegiatan litbang di laboratorium PTBBN yang lain (gedung no. 07 PSTA – Yogyakarta) juga tidak terlalu signifikan potensi bahaya radiasinya karena menggunakan bahan nuklir dalam jumlah kecil. Adapun pengelolaan dosis radiasi personil PTBBN yang bertugas di Yogyakarta termasuk dalam lingkup analisis data dosis ini.

Dalam tulisan ini dibahas tentang pengendalian dosis radiasi personil PTBBN selama kegiatan tahun 2016 yang diterima personil pada saat melaksanakan kegiatan di

IEBE dan IRM (juga gedung no. 07 PSTA – Yogyakarta). Dari hasil evaluasi penerimaan dosis radiasi personil ini dapat memberikan indikator kondisi keselamatan radiasi di tempat kerja, khususnya di laboratorium IEBE dan IRM.

## TEORI

Penerimaan dosis radiasi pada tubuh personil baik berasal dari paparan radiasi langsung ke tubuh (radiasi eksternal) maupun akibat masuknya kontaminasi berupa zat-zat radioaktif ke dalam tubuh (radiasi internal) yang melampaui batas keselamatan dapat menyebabkan penyakit akibat kerja/ radiasi. Untuk itu dalam kegiatan yang menggunakan zat-zat radioaktif seperti di IEBE dan IRM, diupayakan penerimaan dosis radiasi serendah mungkin sesuai dengan prinsip *As Low As Reasonable Achievable* (ALARA). Implementasi ALARA misalnya berupaya mengurangi penerimaan dosis dari paparan radiasi eksternal dengan menggunakan perisai radiasi, mengatur jarak antara personil dengan sumber radiasi dan membatasi waktu (lama) terkena paparan radiasi. Untuk mengurangi potensi bahaya radiasi internal dapat diupayakan dengan mencegah atau membatasi kontaminasi bahan/zat radioaktif di daerah kerja. Di instalasi nuklir hal ini dilakukan dengan cara mengungkung bahan/zat radioaktif seperti mengungkungnya di dalam *hotcell*, *glovebox* dan *fumehood*, mengatur pola aliran udara yang benar melalui sistem ventilasi aktif bertekanan negatif dan menggunakan APD seperti masker, baju dan sepatu kerja, sarung tangan dan sebagainya. Kontaminasi juga dapat dikendalikan dengan pengaturan zona (daerah) kerja, pemasangan *shoe-barrier*, pemeriksaan kontaminasi pada tangan, kaki dan baju kerja serta penerapan aturan-aturan keselamatan kerja lainnya. Sedangkan besarnya dosis yang diterima personil pekerja radiasi dapat diketahui melalui pemantauan dosis radiasi eksternal menggunakan dosimeter serta dengan cara analisis *in-vivo* dan *in-vitro* untuk pemantauan radiasi internal.

Dengan adanya potensi bahaya yang berasal dari paparan radiasi eksternal dan/ atau internal, maka di instalasi nuklir mengoperasikan sistem keselamatan radiasi berupa pemantauan atau pengukuran keradioaktifan di daerah kerja dan dosis radiasi personil, dan kemudian hasilnya dijadikan sebagai indikator atau bukti apakah kondisi operasional instalasi nuklir dalam status selamat atau tidak (bahaya). Pemantauan keradioaktifan tersebut adalah (1) pemantauan laju paparan radiasi- $\gamma$ , (2) pemantauan tingkat kontaminasi radioaktif pada permukaan daerah kerja, (3) pemantauan tingkat kontaminasi radioaktif di udara daerah kerja dan (4) pemantauan penerimaan dosis radiasi eksternal dan internal personil. Fokus pembahasan keselamatan radiasi dalam tulisan ini adalah yang terkait dengan pemantauan penerimaan dosis radiasi eksternal dan internal personil.

Potensi bahaya radiasi yang signifikan di IEBE adalah akibat adanya kegiatan di PCP. Dalam kegiatan ini sejumlah bahan serbuk *Yellow cake* (mengandung bahan radioaktif U) diproses secara kimiawi di dalam tangki/ wadah proses untuk dikonversi menjadi serbuk  $UO_2$ . Kegiatan tersebut berpotensi adanya larutan yang mengandung U lepas dari tangki/ wadah proses sehingga menyebabkan kontaminasi permukaan di daerah kerja. Bila tidak segera didekontaminasi, larutan tersebut akan mengering kemudian dapat terdispersi ke udara ruangan kerja sehingga menyebabkan kontaminasi udara. Kontaminan tersebut dapat masuk ke dalam tubuh personil melalui pernafasan, sistem pencernaan atau kulit yang terluka sehingga personil menerima dosis radiasi interna. Karena U tidak memberikan paparan radiasi yang tinggi di daerah kerja, maka potensi dari radiasi eksterna tidak begitu signifikan. Walaupun daerah kerja lainnya di IEBE berpotensi juga terhadap bahaya radiasi, namun pada tahun 2016 kegiatan di PCP lebih banyak menangani bahan U dan perlu mendapat perhatian dari segi proteksi radiasi.

Pada tahun 2016 di IRM, kegiatan dekontaminasi *hotcell* menjadi perhatian serius dari segi proteksi radiasi. Metoda dekontaminasi yang diterapkan pada saat ini memungkinkan paparan radiasi cukup tinggi terhadap personil karena tidak ada perisai yang signifikan. Berdasarkan aturan keselamatan operasional *hotcell*, pengeluaran limbah aktivitas tinggi yang ditimbulkan dari kegiatan dekontaminasi yang ada di dalam *hotcell* harus secara *remote* melalui *hotcell* khusus untuk penanganan limbah. Akibat adanya suatu kendala (*lift drum* limbah mengalami kerusakan), maka limbah bekas dekontaminasi dikeluarkan secara *manual* melalui *service area* (ruangan belakang *hotcell*) sehingga dalam penanganannya berpotensi paparan radiasi terhadap personil. Potensi bahaya dapat menjadi lebih besar karena dalam pelaksanaannya tidak memungkinkan untuk menggunakan perisai radiasi yang signifikan dan mengatur jarak yang aman dari sumber radiasi karena keterbatasan ruang daerah kerja (*service area*). Upaya yang dapat dilaksanakan untuk mengurangi paparan radiasi adalah mengatur lama (waktu) terpapar radiasi saat limbah aktivitas tinggi dikeluarkan dari dalam *hotcell*. Sedangkan untuk mencegah bahaya radiasi interna telah diupayakan menggunakan baju khusus Tyvax (*cover all*) dan *full masker* serta menjamin bahwa aliran udara saat lubang *hotcell* dibuka menuju ke dalam *hotcell*. Walaupun daerah kerja lainnya di IRM berpotensi juga terhadap bahaya radiasi, namun pada tahun 2016 aktivitas kegiatan di *service area* lebih tinggi dan perlu mendapat perhatian juga dari segi keselamatan radiasi.

## **METODOLOGI**

Dalam evaluasi dosis personil PTBBN tahun kegiatan 2016, analisis data dosis personil dibagi menjadi tiga kelompok, masing-masing adalah: (1) kelompok BFBBN yaitu personil yang melakukan kegiatan di IEBE termasuk juga yang bekerja di gedung no. 07

PSTA – Yogyakarta, (2) kelompok BUR yaitu personil yang melakukan kegiatan di IRM, dan (3) kelompok BKKABN yaitu personil yang kegiatannya menunjang operasional kedua instalasi nuklir PTBBN. Berdasarkan struktur organisasi PTBBN, kelompok BFBBN adalah personil dari Bidang Fasilitas Bahan Bakar Nuklir, kelompok BUR adalah personil dari Bidang Uji Radiometalurgi dan kelompok BKKABN adalah gabungan personil-personil dari Bidang Keselamatan Kerja dan Akuntansi Bahan Nuklir, Bidang Pengembangan Fasilitas Bahan Bakar Nuklir, Unit Jaminan Mutu, Unit Pengamanan Nuklir dan Kepala PTBBN.

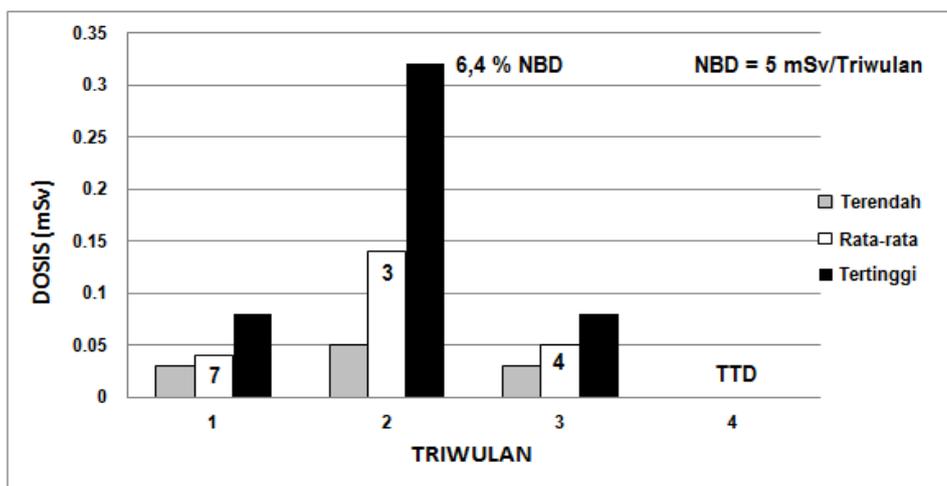
Evaluasi keselamatan radiasi personil dilakukan berdasarkan data dosis radiasi personil selama kegiatan kerja tahun 2016 yang diterima dari Pusat Pendayagunaan Informasi dan Kawasan Strategis Nuklir (PPIKSN) – BATAN. Data dosis radiasi eksternal diperoleh melalui pemakaian TLD saat personil memasuki medan radiasi (daerah kerja). Pemakaian TLD biasanya untuk pemantauan dosis selama tiga bulan (triwulan). Setiap triwulan ada  $\pm 171$  personil PTBBN yang dipantau terhadap dosis radiasi eksternal menggunakan TLD. Untuk pemantauan dosis eksternal personil kelompok BFBBN dilakukan terhadap Dosis Ekuivalen Kulit (DEK) atau  $H_p(0,07)$  dan Dosis Ekuivalen Seluruh Tubuh (DEST) atau  $H_p(10)$ , sedangkan kelompok BUR dan BKKABN hanya DEST saja. TLD adalah salah satu alat pemantau dosis radiasi yang dapat memberikan data dosis akumulasi selama pemakaian di medan radiasi. Setelah pemakaian selama tiga bulan, TLD dibaca di PPIKSN dan dokumen hasil pembacaan dosis radiasi (dalam satuan mSv) tersebut dikirim ke PTBBN untuk dievaluasi dan direkam ke dalam Kartu Dosis Personil<sup>[1,4]</sup>.

Pemantauan dosis internal personil dilakukan dengan cara in-vivo dan in-vitro. Pemantauan secara in-vivo merupakan pendeteksian secara langsung keradioaktifan di dalam tubuh personil menggunakan alat *Whole Body Counter* (WBC). Sedangkan pemantauan secara in-vitro merupakan pengukuran keradioaktifan dari ekresi tubuh personil dalam bentuk air seni (urine). Untuk keperluan pemantauan dengan secara in-vivo, PTBBN mengirim personil yang akan dipantau ke PPIKSN sesuai jadwal yang ditetapkan, sedangkan untuk keperluan pemantauan in-vitro, PTBBN mengirim cuplikan urine personil yang akan dipantau ke PPIKSN. Personil yang dipantau secara in-vivo dan in-vitro adalah personil yang diduga berpotensi besar menerima dosis internal sesuai dengan pekerjaannya. Pemantauan hanya dilakukan sekali dalam satu tahun untuk setiap personil. Pada tahun 2016 telah dilakukan pemantauan secara in-vivo dengan jumlah 131 personil dan pemantauan secara in-vitro dengan jumlah 78 personil. Hasil pemantauan dosis internal dikirim ke PTBBN untuk kemudian dievaluasi dan direkam ke dalam Kartu Dosis Personil<sup>[1,5,6]</sup>.

Evaluasi dosis radiasi dilakukan dengan menganalisis data dosis radiasi eksternal dan internal. Data dosis radiasi eksternal yang berasal dari TLD terdiri dari data pantauan DEK dan DEST. Sedangkan data dosis internal terdiri dari data pemantauan secara in-vivo dan in-vitro. Dari data dosis radiasi personal tersebut dibuat grafik batang terhadap dosis radiasi tertinggi, rata-rata dan terendah terhadap pemantauan dosis radiasi eksternal untuk setiap triwulan pemantauan (empat triwulan). Grafik batang terhadap pemantauan dosis radiasi internal juga dibuat. Analisis data juga memperhatikan penerimaan dosis individual dan dibuatkan grafik batang berdasarkan kelompoknya. Data dosis radiasi tertinggi setiap grafik kemudian dibandingkan dengan nilai BKO instalasi nuklir, dalam hal ini adalah NBD pekerja radiasi sebesar 5 mSv/triwulan atau 20 mSv/tahun untuk DEST dan 125 mSv/triwulan untuk DEK sesuai dengan ketentuan dalam LAK instalasi yang dirujuk dari ICRP No.60. Evaluasi juga memeriksa penerimaan dosis tertinggi individu dan tempat kerja individu tersebut<sup>[1]</sup>.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

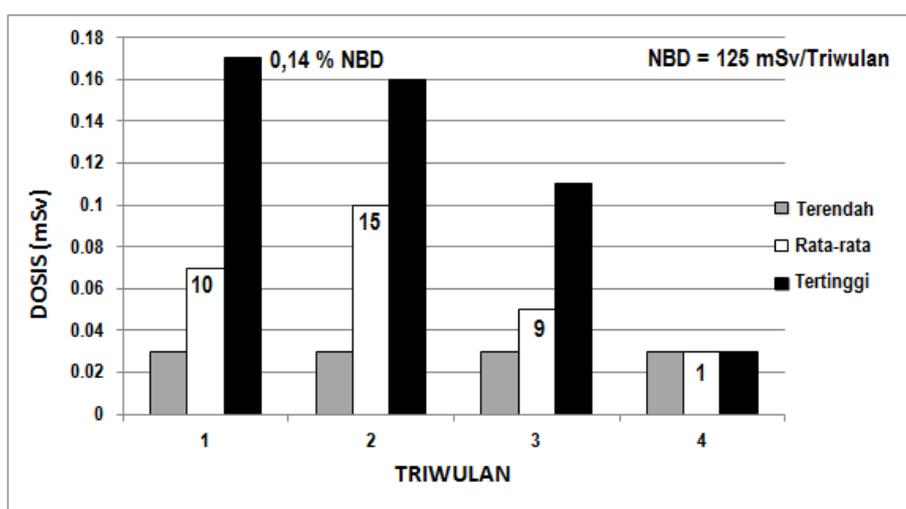
Berdasarkan lembar data hasil pemantauan dosis radiasi personal PTBBN tahun 2016, untuk pemantauan dosis eksternal (menggunakan TLD) ada 12 personal yang terdeteksi menerima DEST dari 171 personal yang dipantau dan 18 personal yang terdeteksi menerima DEK dari 52 personal yang dipantau. Adapun untuk pemantauan dosis internal secara in-vitro (analisis urine) terdapat 28 personal yang terdeteksi menerima dosis dari 78 personal yang dipantau, sedangkan pemantauan dosis internal secara in-vivo (menggunakan WBC), tidak ada personal yang terdeteksi dari 131 personal yang dipantau. Hasil pemantauan dosis radiasi tersebut dapat dilihat pada gambar-gambar grafik batang berikut.



Gambar 1. Penerimaan DEST personal setiap triwulan pemantauan.

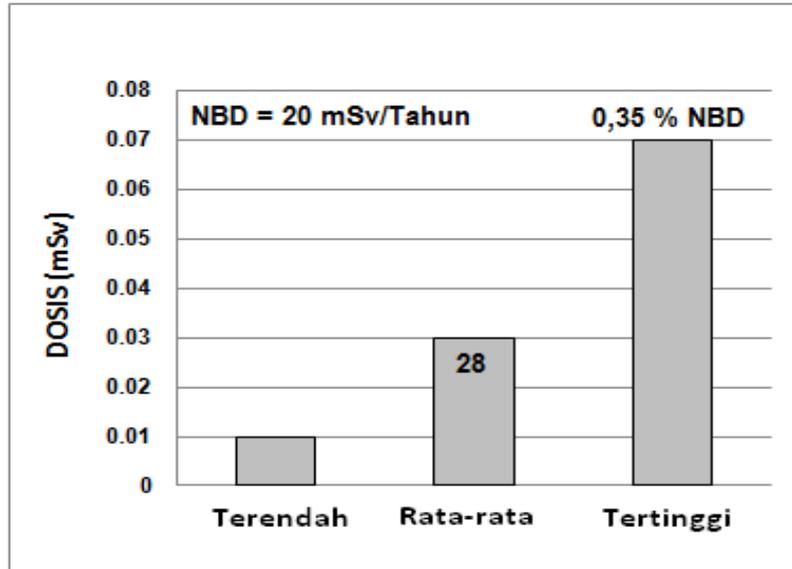
Pada Gambar 1 terlihat bahwa penerimaan DEST (Hp.10) yang tertinggi untuk setiap triwulan dalam tahun 2016 adalah 0,32 mSv (pada triwulan-2) atau 6,4% dari NBD-triwulan. Pada triwulan-1 dan triwulan-3 lebih rendah, sedangkan pada triwulan-4 sama sekali tidak terdeteksi (di bawah batas atau limit deteksi alat pembaca dosis). Dosis tertinggi tersebut diterima oleh personil pekerja radias dari kelompok BKKABN.

Gambar 2 memperlihatkan besarnya DEK (Hp(0,07)) personil yang bekerja di IEBE (kelompok BFBBN). Pada gambar tersebut tampak bahwa penerimaan dosis tertinggi untuk setiap triwulan dalam tahun 2016 sebesar 0,17 mSv (pada triwulan-1) atau 0,14% dari NBD-triwulan. Pada triwulan lainnya dosis ekivalen kulit lebih rendah, yaitu: 0,16 mSv (triwulan-2); 0,11 mSv (triwulan-3) dan 0,03 mSv (triwulan-4).



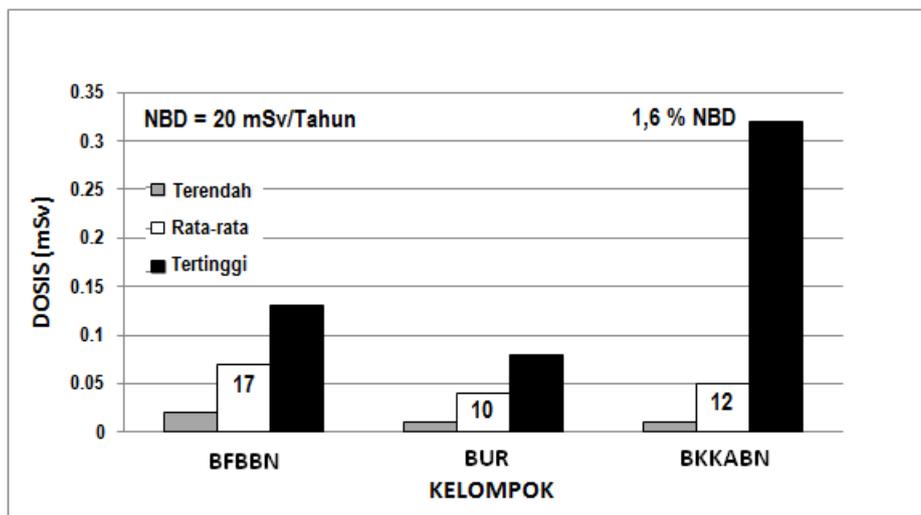
Gambar 2. Penerimaan DEK (Hp(0,07)) personil setiap triwulan pemantauan.

Hasil pemantauan dosis radiasi interna secara in-vivo untuk pemantauan tahun 2016, tidak ada personil yang terdeteksi dosis radiasi internanya sehingga tidak perlu dibuatkan grafik, namun berdasarkan hasil pemantauan radiasi interna secara in-vitro, terdapat 28 personil yang terdeteksi menerima dosis radiasi interna. Gambar 3 berikut memperlihatkan besarnya dosis radiasi interna yang diterima personil PTBBN tahun 2016 berdasarkan pemantauan in-vitro.



Gambar 3. Penerimaan dosis radiasi interna personil PTBBN tahun 2016 yang terdeteksi melalui pemantauan in-vitro.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa penerimaan dosis interna personil yang tertinggi sebesar 0,07 mSv atau 0,35% dari NBD-tahunan. Personil pekerja radiasi yang menerima dosis interna tertinggi untuk pemantauan in-vitro adalah personil yang bekerja di IRM (kelompok BUR).



Gambar 4. Penerimaan DET personil PTBBN tahun 2016 sesuai kelompok.

Gambar 4 memperlihatkan Dosis Efektif Total (DET) yang diterima personil PTBBN pada tahun 2016 untuk setiap individu sesuai dengan kelompoknya. Pada gambar tersebut tampak bahwa personil (individu) yang tertinggi menerima DET adalah berasal dari kelompok BKKABN.

Berdasarkan perhitungan DET, dosis yang diterima personil merupakan penjumlahan dari DEST (Hp.10) dan dosis radiasi interna. DEK Hp(0,07) tidak termasuk

(bukan komponen) dalam perhitungan DET. Perhitungan penerimaan dosis radiasi yang paling pesimis (dosis maksimum) adalah apabila diasumsikan bahwa besarnya penerimaan dosis yang ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 3 berasal dari personil yang sama (satu individu). Jika dianggap demikian, maka dosis tertinggi yang diterima personil dalam tahun 2016 adalah penjumlahan besarnya dosis yang terdeteksi setiap triwulan dari DEST dengan dosis interna, yaitu sebesar 0,55 mSv. Nilai ini berasal dari DEST pada triwulan-1 (0,08 mSv), triwulan-2 (0,32 mSv) dan triwulan-3 (0,08 mSv) serta dosis interna secara in-vitro (0,07 mSv). Berdasarkan asumsi tersebut, besarnya penerimaan dosis radiasi personil masih kecil/ rendah, yaitu hanya sekitar 2,75% dari NBD-tahunan pekerja radiasi sebesar 20 mSv per tahun. Hasil pemeriksaan data untuk setiap individu penerima dosis radiasi dapat diketahui bahwa ternyata penerima DEST dan dosis interna adalah individu yang berbeda sehingga asumsi awal tidak dapat diterima. Dengan demikian dapat diketahui bahwa penerimaan dosis radiasi tertinggi personil PTBBN tahun 2016 sesuai dengan data pada Gambar 4, yaitu sebesar 0,32 mSv atau hanya 1,6% dari NBD-tahunan. Jadi penerimaan dosis radiasi tertinggi tahun 2016 berasal dari kelompok BKKABN.

## **KESIMPULAN**

Hasil evaluasi penerimaan dosis radiasi personil PTBBN yang bekerja di IEBE, IRM dan gedung no. 07 PSTA – Yogyakarta pada tahun 2016 dapat disimpulkan bahwa operasional keselamatan radiasi pada instalasi nuklir PTBBN masih dalam margin yang selamat dan aman. Kegiatan kerja konversi *Yellow Cake* di PCP dan kegiatan kerja dekontaminasi *hotcell* di IRM yang berisiko tinggi terhadap bahaya radiasi eksterna dan interna, tidak menyebabkan penerimaan dosis radiasi yang membahayakan. Selama kegiatan tersebut tidak ada batasan-batasan keselamatan radiasi (BKO) yang tertera dalam dokumen LAK instalasi yang dilanggar. Asumsi pesimis (bila penerima dosis radiasi adalah individu yang sama) dari DET tertinggi sebesar 0,55 mSv/tahun atau 2,75% NBD-tahunan ternyata tidak dapat diterima. Hasil pemeriksaan data perhitungan dosis untuk menentukan DET, ternyata penerima dosis adalah individu yang berbeda. Berdasarkan pemeriksaan tersebut disimpulkan bahwa penerimaan dosis radiasi tahunan tertinggi personil PTBBN pada tahun 2016 adalah 0,32 mSv atau 1,6% dari NBD-tahunan. Pengukuran terhadap indikator keselamatan radiasi melalui pemantauan dosis radiasi personil tersebut nilainya masih jauh dari batasan keselamatan. Ini menunjukkan bahwa sistem keselamatan yang beroperasi di IEBE dan IRM (termasuk gedung no. 07 PSTA – Yogyakarta) masih dalam kondisi baik dan aman, serta risiko terhadap bahaya radiasi masih dapat terkontrol.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. BATAN, Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi KNS, Rev.1, 2011.
2. PTBBN, Laporan Analisis Keselamatan IRM, No.Dok.: KK32 J09 001, Rev.1, 2012.
3. PTBBN, Laporan Analisis Keselamatan IEBE, No.Dok.: KK32 J09 002, Rev.7, 2012.
4. PPIKSN, Sertifikat Hasil Uji TLD, FM-002 SOP 081.003/KN 08 02/SN 5.1.
5. PPIKSN, Laporan Pemantauan Dosis Radiasi Internal In-vivo, No.Dok.: FM-002 SOP 069.002/KN 08 02/SN 5.1.
6. PPIKSN, Laporan Periodik Pemantauan Dosis Radiasi Internal dengan Analisis In-vivo, No.Dok.: FM-002 SOP 069.002/KN 08 02/ISN 5.1.
7. PPIKSN, Laporan Periodik Pemantauan Dosis Radiasi Internal dengan Analisis In-vitro, No.Dok.: FM-003 SOP 102.003/KN 08 02/ISN 5.1.