

STUDI PENERIMAAN DOSIS EKSTERNA PADA PEKERJA RADIASI DI KAWASAN BATAN YOGYAKARTA

TOTO TRIKASJONO*, ELISABETH SUPRIYATNI**, HENDARTO BUDIYONO***

*Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, DIY 55010
Telp. 0274.489716, Faks.489715

**Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, DIY 55010
Telp. 0274.488435, Faks 487824

**IKK Pascasarjana UGM

Abstrak

STUDI PENERIMAAN DOSIS EKSTERNA PADA PEKERJA RADIASI DI KAWASAN BATAN YOGYAKARTA. Telah dilakukan studi penerimaan dosis eksterna pada pekerja radiasi di kawasan BATAN Yogyakarta. Paparan radiasi pada pekerja diambil dari setiap pekerja yang memakai thermoluminisensi detector (TLD) dan dosimeter film (film badge) dari periode tahun 1997 sampai dengan tahun 2006. Pembacaan hasil paparan radiasi setiap tahunnya dilakukan di Laboratorium Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar dosis paparan radiasi yang diterima pekerja radiasi dan telah dipenuhi atau tidaknya sistem pembatasan dosis yang telah ditetapkan oleh International Commission on Radiological Protection (ICRP) ataupun Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) serta menentukan langkah lebih lanjut untuk menjamin keselamatan dan kesehatan kerja pada pekerja radiasi. Penelitian ini dilakukan di bidang Reaktor, Keselamatan dan Kesehatan, Akselerator di kawasan BATAN, karena ketiga bidang tersebut pekerjaannya mempunyai probabilitas tinggi terkena paparan radiasi. Jumlah pekerja radiasi yang menjadi subyek penelitian sebanyak 45 orang yaitu seluruh populasi pekerja radiasi pada ketiga bidang tersebut. Variabel penelitian terdiri dari variabel bebas yaitu pekerja radiasi dan masa kerja dan variabel tergantungnya adalah dosis paparan radiasi personil dan katagori pekerjaan. Alat pengumpul data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan personil monitor radiasi. Analisis uji-t student dan analisis variansi (anova) digunakan untuk menguji hipotesis penelitian yang telah diajukan dengan taraf signifikansi (α) = 0,05. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi penerimaan dosis tahunan personil mengelompok pada interval 0-0.2 mSv, dan penerimaan dosis tertinggi 6.09 mSv pada tahun 1998 dari bidang reaktor, sedangkan dosis total selama 10 tahun, didapatkan dari bidang reaktor sebesar 245.89 mSv (48.49%), bidang K2 sebesar 199.04 mSv (39.26%) dan bidang akselerator sebesar 62.11 mSv (11.25%). Hasil uji anova didapatkan nilai F-hitung 8.883 dan $p=0.001$ ($p<0,05$). berarti terdapat perbedaan yang signifikan. Untuk uji komparatif Reaktor dengan bidang K2 dan Akselerator terdapat perbedaan yang signifikan, sedangkan antara bidang K2 dengan Akselerator nirsiknifikan. Secara keseluruhan penerimaan dosis eksterna perorangan pada pekerja dari ketiga bidang yang dimonitor, masih di bawah Nilai Batas Dosis (NBD) yang direkomendasikan BAPETEN (SK No.01/Ka.BAPETEN/V/99) yang besarnya 50 mSv per tahun dan ICRP 1990 sebesar 20 mSv per tahun.

Kata kunci : paparan radiasi personil, pekerja radiasi, thermoluminisensi detector.

Abstract

The external acceptance dose of radiation worker in BATAN Yogyakarta have been studied. Radiation exposure workers were taken from each worker who wear Thermoluminescent Dosimeter (TLD) on period 1997-2006. Exposure result of radiation is implemented done every year in Laboratory Safety, Health and

Environment, Centre of Research and Development Safety Radiation, National Nuclear Energy Agency. This research aim is to know how much exposure dose of radiation accepted by worker radiation whether have been fulfilled or not the system limitation of dose which have been specified by International Commission on Radiological Protection (ICRP) and or Nuclear Energy Regulation Agency and also determine furthermore step to guarantee health and safety (worker radiation worker: tidak jelas maksudnya) in BATAN Yogyakarta. This research (apa beda research dengan study? tolong dipilih salah satu) was done in this trihedron that are nuclear reactor, safety and health and accelerator, because of worker in this trihedron have hit high probability radiation exposure. Radiation worker that chosen as sample of research are 45 workers that are radiation worker. Research variable consist of independent variable that is worker of year service and radiation while dependent variable of exposure radiation dose personal and work category. Data collection which is used in this research using TLD. Analysis student's t-test and analysis of variance were used to test research hypothesis which have been raised with level of significant = 0,05. The result of this analysis indicate that distribution acceptance of annual dose personal of group interval 0-2 mSv, and acceptance of highest dose 6.09 mSv in the year 1998 from nuclear reactor area, while total dose during 10 year, reactor area is 245.89 mSv (48.49%), K2 area, equal to 199.04 mSv (39.26%) and accelerator area equal to 62.11 mSv (11.25%). The result test of anova value are $F = 8.883$ and $p = 0.001$ ($p < 0,05$), means there are significant difference. For the test of reactor comparability with K2 and accelerator there are significant difference, while between K2 and accelerator is nonsignificant. Whole acceptance of dose of external personal at worker from third monitored area, still below the dose of limitation Nuclear Energy Regulation Agency which is recommended is 50 mSv/year and ICRP 1990 is 20 mSv/year.

Keywords : Thermoluminescent Dosimeter, personal radiation exposure, radiation worker

PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi nuklir semakin meningkat di berbagai bidang, antara lain; bidang industri, kedokteran, pertanian dan penelitian, maka perlu dilakukan usaha yang berhubungan dengan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) bagi pekerja radiasi, masyarakat dan lingkungannya. Selain keuntungan yang diperoleh, teknologi nuklir menimbulkan radiasi yang mengandung potensi bahaya bagi manusia dan lingkungan, apabila dalam pelaksanaannya tidak mengikuti prosedur K3 radiasi yang telah ditentukan. Ada 2 (dua) macam pemantauan untuk dapat memberikan perlindungan kepada manusia dari paparan radiasi yaitu pemantauan paparan radiasi terhadap tempat kerja dan pemantauan paparan radiasi terhadap personil yang bekerja. (Cember, 1992).

Tujuan K3 radiasi untuk mencegah *efek non stokastik (deterministik)* dan membatasi peluang terjadinya *efek stokastik* sampai pada tingkat yang dapat diterima. Setiap penyinaran pada seluruh tubuh menyebabkan efek yang berbeda pada berbagai macam jaringan, maka untuk perlindungan terhadap *efek stokastik* perlu ditetapkan Nilai Batas Dosis (NBD) atau Nilai Batas Dosis (NAB), yang berdasarkan pada resiko total dari semua jaringan yang mendapat penyinaran. Nilai Batas Dosis adalah

dosis terbesar yang diizinkan oleh badan pengawas yang dapat diterima oleh pekerja radiasi dan anggota masyarakat dalam jangka waktu tertentu tanpa menimbulkan efek genetik dan somatik yang berarti akibat pemanfaatan tenaga nuklir. (Maryanto, 2007). Nilai Batas Dosis bukanlah merupakan pemisah antara aman dan bahaya tetapi jika NBD sedikit saja terlampaui, maka akan menunjukkan telah terjadi suatu kekeliruan dalam pengendalian radiasi, karena itu harus segera dievaluasi ulang atau dilakukan perbaikan. (Suratman, 1994). Untuk mencapai tujuan keselamatan dan proteksi radiasi di instalasi nuklir, dalam rekomendasi ICRP No. 60 tahun 1990, dijelaskan beberapa prinsip-prinsip proteksi radiasi yang harus dilakukan yaitu justifikasi, optimasi dan limitasi. Sedangkan menurut Martin (1996) tentang keselamatan kerja terhadap radiasi pengion, disamping ke tiga prinsip proteksi tersebut maka harus mengikuti konsep ALARA (*As Low As Reasonable Achievable*). Dalam ALARA diartikan sebagai keharusan untuk memperhatikan biaya yang diperlukan untuk menurunkan dosis disamping keuntungan yang diperoleh sebagai akibat berkurangnya resiko. Usaha menyeimbangkan biaya terhadap resiko ini dikenal sebagai mengoptimalkan proteksi radiasi atau mengoptimalkan keselamatan radiasi.

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat : 1). Pekerja radiasi akan memberikan gambaran secara keseluruhan perkiraan dosis radiasi yang diterima pekerja setiap tahunnya dan sebagai bahan evaluasi untuk menjamin K3 radiasi pada pekerja oleh dokter perusahaan dan bidang K2; 2) Institusi mendapatkan gambaran atau kecenderungan secara jelas tentang tingkat penerimaan dosis paparan radiasi pekerja dalam periode tahun 1997 s/d tahun 2006; 3) Digunakan institusi sebagai bahan pertimbangan untuk merekomendasikan pada pekerja, tetap sebagai pekerja radiasi atau dialih tugaskan di bagian lain oleh dokter perusahaan dan bidang K2; 4). Digunakan sebagai bahan pertimbangan penelitian lebih lanjut yang sejenis khususnya tentang K3 radiasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat penerimaan dosis paparan radiasi pada pekerja tahun 1997 s/d 2006 di bidang Reaktor, bidang K2 dan bidang Akselerator Kawasan BATAN Yogyakarta, dan untuk mengetahui besar dosis yang diterima pekerja radiasi dan dipenuhi atau tidaknya sistem pembatasan dosis yang telah ditetapkan oleh *International Commission on Radiological Protection (ICRP,1990)* ataupun Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN, 1999).

Menurut Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang keselamatan kerja terhadap radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif, menyebutkan keselamatan radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Sedangkan pekerja radiasi adalah setiap orang yang bekerja di instalasi nuklir atau instalasi radiasi pengion yang diperkirakan menerima dosis tahunan melebihi dosis untuk masyarakat umum (BAPETEN, 2007). Pekerja radiasi tersebut oleh institusi yang berwenang senantiasa memperoleh pengamatan tentang dosis radiasi yang diterimanya. Untuk memenuhi Peraturan Pemerintah tersebut, maka pekerja radiasi diwajibkan memakai peralatan pemantauan personal saat bekerja, dapat berupa dosimeter saku (*Pocket Dosimeter*), *Film Badge* atau *Thermoluminescent Dosimeter (TLD)*. Tujuan utama pemantauan personal/pemantauan personal adalah untuk mendapatkan informasi tentang penyinaran pada individu. Disamping tujuan utama ini, pemantauan personal juga digunakan untuk

mengamati kecenderungan atau perubahan pada kebiasaan kerja seseorang individu atau kelompok/bagian. Dengan demikian pengukuran dosis personal dapat digunakan untuk mengukur keefektifan program pengawasan radiasi pada pekerja. (*Sasongko., 2004*).

Penelitian ini menekankan pada studi terhadap penerimaan dosis yang diterima oleh pekerja radiasi selama sepuluh tahun (1997 s/d 2006). Data diambil pada periode kerja tertentu yaitu lama waktu sampel penelitian pada pekerja, sejak mulai melaksanakan pekerjaan di daerah radiasi di kawasan BATAN Yogyakarta sampai saat data penelitian ini diambil. Penelitian dilakukan pada pekerja radiasi di tiga bidang yaitu bidang Reaktor, bidang K2 dan bidang Akselerator kawasan BATAN Yogyakarta. Kriteria tempat kerja ke tiga bidang ini dipilih karena yang mempunyai paparan radiasi yang tinggi dibandingkan dengan bidang lain di kawasan BATAN Yogyakarta tersebut. Dengan diketahuinya dosis paparan radiasi yang diterima oleh pekerja setiap tahunnya dan secara akumulatif maka dapat digunakan oleh dokter perusahaan dan bidang K2 BATAN sebagai bahan pertimbangan untuk merekomendasikan pada pekerja, tetap sebagai pekerja radiasi atau dialih tugaskan dibagian lain serta digunakan sebagai acuan untuk peningkatan upaya K3 bagi pekerja radiasi sehingga keselamatan dan kesehatan pekerja dapat terjamin.

TINJAUAN PUSTAKA

Efek Radiasi Terhadap Manusia

Radiasi yang mengenai tubuh manusia dapat menimbulkan kerugian bagi pekerja dari paling ringan hingga fatal. Derajat efek ini tergantung pada beberapa faktor yaitu jenis radiasi, lamanya penyinaran, jarak sumber dengan tubuh dan ada tidaknya penghalang (*shielding*) antara sumber radiasi dengan pekerja. Sedangkan menurut Kustiono (1991), efek biologis radiasi pengion tergantung pada; organ/bagian tubuh dan pola transfer terkena radiasi, kualitas radiasi dan pola transfer energi yang terjadi di dalam tubuh dan faktor modifikasi lainnya misalkan besarnya dosis, fraksinasi dosis dan distribusi zat radioaktif di dalam tubuh. Efek radiasi terhadap tubuh manusia dapat terjadi karena paparan akut

maupun paparan menahun (kronis) atau terus-menerus. Paparan akut berpengaruh kepada seluruh organ dan sistem tubuh karena dosis paparan berlebih tunggal yang besar sedangkan paparan terus menerus dapat terjadi karena dosis yang dikenakan secara menahun yang kecil. Efek dari paparan yang terus menerus adalah efek tertunda (*late effect*) seperti kanker, kanker tulang, kanker paru, leukemia dan lainnya. (Hiswara, 2002).

Interaksi radiasi dapat terjadi secara langsung ataupun tidak langsung. Efek yang ditimbulkan dapat dialami oleh keturunan orang yang terkena radiasi, dan efek ini disebut efek genetik. Jika orang yang terkena radiasi yang menderita akibat radiasi, maka efeknya disebut sebagai *efek somatik*. Efek somatik dapat terjadi segera setelah terkena radiasi ataupun tertunda setelah beberapa waktu. Berdasarkan kemungkinan munculnya efek negatif dikenal dua jenis efek yaitu efek stokastik dan *efek deterministik*. *Efek stokastik* adalah efek yang kemungkinan terjadinya sebanding dengan dosis yang diterima oleh seseorang dan tanpa suatu nilai ambang berapapun kecilnya dosis yang diterima oleh seseorang resiko efek radiasi selalu ada dan efek *non stokastik (deterministik)* adalah efek yang tingkat keparahan dari akibat radiasi tergantung dari dosis radiasi yang diterima seseorang dan diperlukan suatu nilai ambang, sehingga di bawah nilai ambang tidak terlihat akibat yang merugikan. Efek negatif dapat dikurangi dengan menciptakan suatu kondisi agar dosis radiasi pengion yang mengenai manusia dan lingkungan hidup tidak melebihi nilai batas dosis maka dilakukan langkah-langkah antara lain :

1. Mencegah terjadinya *efek non stokastik (deterministik)* dari radiasi yang membahayakan seseorang, dan membatasi peluang terjadinya *efek stokastik* atau resiko akibat penggunaan radiasi (sampai pada suatu nilai batas) yang dapat diterima oleh masyarakat.
2. Meyakinkan bahwa pekerjaan atau kegiatan yang berhubungan dengan penggunaan radiasi pengion secara benar. (Hidayati, 2005).

Manifestasi dari akibat radiasi pada diri seseorang berbeda-beda tergantung antara lain besar dosis yang diterima, lokasi yang terkena

radiasi yang meliputi lokal atau menyeluruh, sedangkan selang waktu terpapar bisa terjadi seketika atau sedikit demi sedikit dan usia saat terpapar radiasi. (Suyitno, 1993).

Efek radasi pengion selain yang telah dijelaskan juga mengakibatkan kerusakan dalam sel. Berbagai bentuk kerusakan yang diakibatkan radiasi dalam sel antara lain

1. Dapat mengganggu ketahanan hidup dan reproduksi sel, tetapi sering kerusakan dapat disembuhkan sendiri oleh sel tersebut (*auto repair*).
2. Perubahan sel dan perubahan daya proliferasi sel dapat terjadi karena faktor lain dalam sel, sebelum atau sesudah paparan radiasi.
3. Bila cukup banyak sel dalam organ atau jaringan terbunuh atau tertahan untuk bereproduksi dan berfungsi secara tidak normal maka sel dalam organ atau jaringan tersebut akan kehilangan fungsi. (Soegianto, 1991).

Mekanisme yang berperan dalam proses terjadinya efek biologi terhadap radiasi merupakan suatu hal yang sederhana. Proses ini dimulai sejak terjadinya pelepasan energi sewaktu radiasi pengion mengadakan interaksi dengan materi sampai timbulnya suatu akibat biologi yang berwujud sebagai efek somatik dan efek genetik. Absorpsi radiasi pengion, baik yang berasal eksternal maupun internal, oleh material biologis mengakibatkan beberapa molekul tereksitasi dan terionisasi. Molekul-molekul yang tereksitasi atau terionisasi ini disebut produk primer yang biasanya bersifat tidak stabil. Produk primer akan segera mengalami serangkaian reaksi sekunder baik sewaktu bertubrukan dengan molekul lain maupun secara spontan. Akhirnya timbullah reaksi biologis yang berupa serangkaian tanggapan biologis dari organisme yang bersangkutan terhadap zat-zat kimia asing yang terproduksi oleh radiasi pengion setelah melalui beberapa tahapan (Purwanto, 1983).

Keselamatan dan Kesehatan Kerja Radiasi

Keselamatan dan Kesehatan Radiasi (K3 Radiasi) adalah suatu cabang ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan teknik kesehatan lingkungan tentang proteksi yang perlu diberikan kepada seseorang atau sekelompok orang terhadap kemungkinan negatif dari penggunaan radiasi sementara kegiatan yang

memerlukan penggunaan sumber radiasi masih tetap dilaksanakan. Dalam menggunakan sumber radiasi di Indonesia, ada suatu badan yang bertugas mengawasi penggunaan dan pemanfaatan di Indonesia. Badan tersebut dibentuk oleh pemerintah dengan nama Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang disingkat BAPETEN (BAPETEN, 2000). Dalam pelaksanaannya, pengendalian bahaya radiasi eksterna dapat dilakukan secara administrasi dan secara fisik.

Dalam meminimalkan paparan radiasi pada pekerja maka dilakukan langkah-langkah pengendalian yang meliputi pengendalian secara administratif dan secara fisik. Pengendalian secara administrasi adalah tatacara administrasi yang dapat mencegah atau meminimalkan paparan eksterna, yang meliputi,

Pengendalian Secara Administratif meliputi: pembagian daerah radiasi, pemasangan tanda radiasi yang jelas untuk setiap daerah radiasi, pelatihan proteksi radiasi. Disamping itu juga harus dibuat prosedur operasi yang berkaitan dengan pengaturan waktu, jarak dan pemasangan penahan radiasi, peraturan setempat (larangan memasuki daerah radiasi) dan persyaratan kondisi kerja (penggunaan alat monitor radiasi) dan inventarisir dan identifikasi sumber. Sistem audit keselamatan radiasi yang meliputi kajian prosedur keselamatan kerja, peralatan radiasi dan fasilitas dan perencanaan program proteksi radiasi untuk pemantauan dosis personal dan pemantauan tempat kerja.

Pengendalian secara fisik pada prinsipnya adalah membuat penghalang fisik yang dikombinasi dengan teknik keselamatan, yang meliputi, penggunaan sistem *interlock*, yang melarang atau mencegah untuk masuk daerah radiasi yang berbahaya, membuat penahan campuran pada desain bangunan dengan peralatan keselamatan radiasi, penggunaan *remote control*, untuk mengurangi penanganan sumber radiasi secara langsung serta memberi jarak terhadap operator dan penggunaan pengatur waktu (*timer*) dalam mengendalikan waktu paparan (Maryanto, 2006).

Secara umum mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomer 33 tahun 2007 tentang penerapan proteksi radiasi di Instalasi yang mengoperasikan alat/ sumber radiasi, maka pemegang izin mengoperasikan alat/suber

radiasi tersebut harus membuat catatan/ dokumen sebagai berikut :

1. Hasil pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi, sebelum bekerja (*pre-employment*), selama masa bekerja (*during employment*) dan sesudah bekerja (*post-employment*) sebagai pekerja radiasi.
2. Dosis radiasi personal tiap pekerja radiasi dari hasil monitoring alat
3. Pelatihan berjenjang/pembekalan khusus sebagai pekerja radiasi yang berfungsi sebagai pengawas proteksi radiasi (PPR).
4. Laju dosis di daerah kerja, yang dapat digunakan sebagai petunjuk awal jika telah terjadi keadaan tidak normal.

Standar pengoperasian instalasi nuklir juga dilihat dari aspek prospektif fungsional, yaitu dikaitkan dengan mempertimbangkan K3 Radiasi untuk pekerja/operator, masyarakat dan lingkungannya. Untuk mendapatkan tingkat keselamatan radiasi yang optimal, maka penanggung jawab instalasi atau manajemen peralatan harus : 1) Mendapatkan izin dari badan yang berwenang, yaitu Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). 2). Memiliki sertifikat hasil pengujian *Acceptance Test* yang dihasilkan pabrikan alat untuk menjamin bahwa alat ukur radiasi masih dalam batas spesifikasi yang telah ditetapkan. 3). Memiliki catatan tentang kondisi peralatan untuk menjamin keselamatan pemakaian. 4). Merawat dan melakukan pengujian/kalibrasi secara berkala untuk memastikan alat masih sesuai dengan spesifikasinya. (Azhar, 2005).

Upaya keselamatan radiasi untuk membatasi penyinaran yang berhubungan dengan pemantauan pada pekerja radiasi di daerah radiasi dapat dilakukan melalui 3 (tiga) cara yaitu pembagian daerah kerja, klasifikasi pekerja radiasi dan pengujian perlengkapan proteksi radiasi serta alat ukur radiasi. Menurut SK Kepala BAPETEN No.01/Ka BAPETEN /V/99 tentang ketentuan keselamatan dan kesehatan kerja terhadap radiasi, seorang pengusaha instalasi atom harus melaksanakan pembagian daerah kerja yang dinyatakan dengan pemasangan tanda-tanda yang jelas. Pembagian daerah kerja tersebut didasarkan atas kemungkinan besarnya dosis radiasi yang boleh diterima oleh pekerja radiasi yang bekerja di daerah radiasi selama waktu satu tahun. (Berkvens, 2002).

CARA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara observasional dengan rancangan studi kasus kontrol (*case control*), dengan populasi pekerja radiasi di bidang Reaktor, bidang K2 dan bidang Akselerator kawasan BATAN Yogyakarta yang mengacu pada hasil evaluasi data penerimaan dosis paparan radiasi eksternal selama periode tahun 1997 s/d tahun 2006. Populasi penelitian diambil pekerja radiasi di kawasan BATAN Yogyakarta di bidang K2, bidang Reaktor dan bidang Akselerator. Ketiga bagian ini dipilih karena yang mempunyai potensi paparan radiasi yang tinggi dibandingkan dengan bagian atau bidang lain. Penentuan besar sampel dalam penelitian ini adalah keseluruhan populasi dari pekerja radiasi di ketiga bidang tersebut yaitu sejumlah 45 pekerja radiasi. Pemantau Dosis Perorangan yang digunakan adalah TLD berbentuk kartu dan Dosimeter Saku. Dosis radiasi yang berasal dari sinar α , β , γ dan X dimonitor dengan TLD-700 dan TLD-600. Dosimeter Saku untuk memonitor radiasi γ pada daerah radiasi tinggi. TLD bentuk kartu dibaca dengan alat baca TLD (*TLD-Reader*) model 6600 buatan *Harshaw*. Variabel penelitian terdiri dari Variabel bebas yaitu pekerja radiasi dan masa kerja; dan Variabel terikatnya adalah dosis paparan radiasi personal dan kriteria tempat kerja. Analisis yang digunakan menggunakan program komputer pada taraf signifikansi (α) = 0,05, Analisis dilakukan dengan langkah-langkah ; 1) Analisis *univariabel*, analisis yang dilakukan secara *diskriptif* dengan menggunakan gambar dan tabel yang memuat besar paparan radiasi pada pekerja, dan 2) Analisis *bivariabel*, analisis ini dilakukan untuk mengetahui hubungan variabel

bebas dengan masing-masing variabel terikat. Adapun Uji statistik yang digunakan adalah Uji-t Student (*student's t-test*), adalah metode statistik untuk menguji signifikansi perbedaan rerata antar pasangan kelompok dan Analisis Variansi (*analysis of variance*), yaitu untuk menguji perbedaan rerata antar kelompok yang satu dengan kelompok lainnya (*analisis komparatif*), (Hadi, 2000).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pembacaan *Thermoluminescent Dosimeter* (TLD), untuk paparan radiasi eksternal perorangan dalam periode tahun 1997-2006 untuk bidang Reaktor, bidang K2 dan bidang Akselerator, yang pembacaannya dilakukan di Laboratorium Pengujian yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional yaitu Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional di Jakarta. Dari pemantauan dosis ini akan didapatkan taksiran dosis ekuivalen rerata pada pekerja radiasi. Informasi ini berguna untuk membatasi dosis radiasi pada pekerja dengan mengurangi jam bekerja di daerah radiasi dan menunjukkan dipenuhi atau tidaknya sistem pembatasan dosis yang direkomendasikan baik oleh *ICRP* 1990 maupun oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Untuk mengetahui perbedaan rerata antar dosis paparan radiasi eksternal antar kelompok bidang, maka dilakukan analisis variansi, yaitu untuk menguji perbedaan rerata antara kelompok yang satu dengan kelompok lainnya. Hasil uji statistik analisis variansi, dapat terlihat seperti pada Tabel. 1, berikut ini :

Tabel 1. Analisis Uji Beda Rerata Antar Kelompok Dosis Paparan Radiasi Rerata Di Bidang Reaktor, Bidang K2 Dan Bidang Akselerator Kawasan BATAN Yogyakarta Periode Tahun 1997–2006

Bidang	Jumlah pekerja	Rerata	SD	F	p	Ket
Reaktor	19	1.2942	0.3097			
BK2	20	0.9952	0.1103	8.883	0.001	s-sig
Akselerator	6	1.0352	0.2665			

Catatan : s-sig = sangat signifikan.

Dari uji anova antara tiga kelompok seperti pada table.1, tersebut terlihat bahwa beda antar kelompok dosis paparan radiasi rerata untuk ketiga bidang didapatkan nilai F-

hitung 8.883 dan $p=0.001$ ($p<0,05$). Nilai tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dosis paparan radiasi rerata yang sangat

signifikan antara ketiga kelompok bidang pada periode tahun 1997-2006 tersebut.

Untuk menguji perbedaan rerata dosis paparan eksternal hasil uji anova tersebut dianalisis hasilnya, terdapat perbedaan atau tidak ada perbedaan antara kelompok yang satu dengan kelompok lainnya maka diuji dengan *Post Hoc (Analisis Komparatif/Multiple*

Comparisons). Analisis komparatif ini menguji antara bidang Reaktor dengan bidang K2 dan bidang Akselerator, antara bidang K2 dengan bidang Reaktor dan bidang K2, antara bidang Akselerator dengan bidang Reaktor dan bidang K2. Hasil ujinya dapat terlihat seperti pada Tabel. 2, sebagai berikut :

Tabel. 2. Uji Komparatif Rerata Dosis Paparan Radiasi Antara Ketiga Kelompok Bidang (*Post Hoc Tests*)

Bidang (i)	Bidang (j)	Mean difference	p	Ket
Reaktor	BK2	0.2989	0.000	s-sig
BK2	Akselerator	0.0399	0.709	nir-sig
Akselerator	Reaktor	0.2589	0.020	sig

Catatan : s-sig = sangat signifikan, sig= signifikan dan nir-sig = nirsignifikan

Dalam uji *komparatif* seperti Tabel 2 di atas dapat diketahui bahwa analisis komparatif antara bidang Reaktor dengan bidang K2 dihasilkan perbedaan rerata sebesar 0.2989 dan nilai $p=0.000$ ($p < 0,05$). Nilai tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dosis paparan rerata yang sangat signifikan antara bidang reaktor dan bidang K2 pada periode 1997-2006. Perbedaan rerata antara bidang K2 dan bidang Akselerator sebesar 0.0399 dan nilai $p=0.709$ ($p > 0,05$). Nilai tersebut menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan dosis paparan rerata

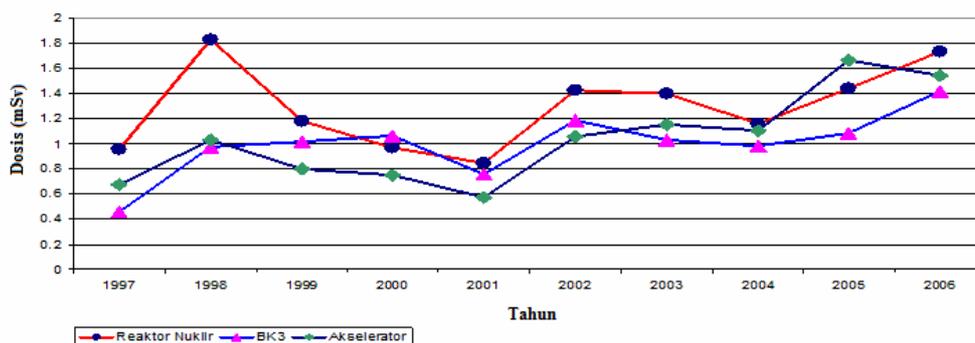
yang signifikan antara bidang K2 dan bidang Akselerator pada periode 1997-2006. Perbedaan rerata antara bidang Akselerator dan bidang Reaktor sebesar 0.2589 dan nilai $p=0.020$ ($p < 0,05$). Nilai tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dosis paparan rerata yang signifikan antara bidang Akselerator dan bidang Reaktor pada periode 1997-2006. Disamping itu untuk memberi gambaran penyebaran rerata dosis paparan radiasi pada pekerja di bidang reaktor, bidang K2 dan akselerator maka dapat diperlihatkan seperti Tabel. 3, sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil Uji Rerata Dosis Paparan Radiasi Eksterna Di Bidang Reaktor, Bidang K2 dan Bidang Akselerator Periode Tahun 1997–2006.

Bidang	Hasil Analisis Dosis Rerata/Tahun									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Reaktor	0.954	1.826	1.182	0.969	0.845	1.430	1.398	1.160	1.443	1.735
BK2	0.457	0.974	1.014	1.067	0.759	1.189	1.029	0.984	1.086	1.418
Akselerator	0.677	1.028	0.802	0.748	0.575	1.057	1.153	1.107	1.663	1.542

Berdasarkan Tabel. 3, data hasil uji minimum, maksimum dan rerata dosis paparan radiasi eksterna di bidang Reaktor, bidang K2

dan bidang Akselerator periode tahun 1997–2006, diperlihatkan seperti pada Gambar. 1, sebagai berikut :



Gambar. 1. Hasil Uji Rerata Dosis Paparan Radiasi Untuk Ketiga Bidang

Berdasarkan Gambar. 1, di atas dapat dilihat bahwa gambaran perubahan rerata penerimaan dosis untuk ketiga bidang dari pekerja radiasi tersebut pada setiap tahunnya. Penerimaan rerata dosis yang paling tinggi terjadi pada tahun 1998 untuk bidang reaktor sebesar 1.828 mSv, bidang K2 pada tahun 2006 sebesar 1.418 mSv dan bidang akselerator pada tahun 2005 sebesar 1.663 mSv. Penerimaan rerata dosis paparan radiasi eksterna untuk ke tiga bidang dari tahun 1997-2006, mengelompok di bawah 2 mSv per tahun ini berarti masih jauh di daerah aman, karena di bawah NBD yang direkomendasikan ICRP 1990 yaitu 20 mSv (2000 mrem) per tahun. Hal ini masih di bawah hasil penelitian Widayati (1997) studi penerimaan dosis di Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif BATAN menunjukkan bahwa 98 % dari seluruh pekerja radiasi menerima dosis dalam

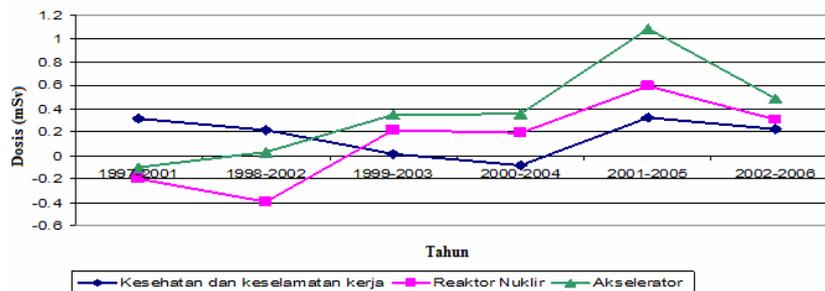
interval 0-4,0 mSv per tahun dan masih di bawah NAB yang ditentukan, sedangkan hasil penelitian Arifin (1995), evaluasi penerimaan dosis pekerja selama pelita V, menunjukkan jumlah pekerja radiasi yang menerima sampai dengan 15 mSv dalam setahun sekitar 0.6 %, 15-50 mSv sebesar 0.13 % serta melebihi batas dosis sebesar 0.03 %. Analisis perbedaan rerata dosis paparan radiasi eksternal antar kelompok, dilakukan dengan analisis variansi. Analisis Variansi, yaitu untuk menguji perbedaan rerata antara kelompok yang satu dengan kelompok lainnya. Dalam penelitian ini akan diketahui hubungan antara pekerja radiasi dan dosis paparan radiasi antar kelompok per lima tahun. Untuk mengetahui dosis paparan radiasi yang diterima oleh pekerja antar kelompok bidang setiap lima tahun dengan hasil seperti pada Tabel. 4, sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Uji Beda Rerata Dosis Paparan Radiasi Eksterna Antar Kelompok Di Bidang Reaktor, Bidang K2 Dan Bidang Akselerator Periode Tahun 1997-2006.

Bidang	Hasil Analisis Dosis Rerata /Lima Tahun					
	1997-2001	1998-2002	1999-2003	2000-2004	2001-2005	2002-2006
Reaktor	0.314	0.216	0.016	-0.084	0.327	0.229
BK3	-0.195	-0.396	0.217	0.191	0.598	0.305
Aks	-0.102	0.028	0.352	0.358	1.088	0.485

Berdasarkan Tabel. 4, data hasil uji Hasil uji rerata dosis paparan radiasi eksterna antar kelompok di bidang Reaktor, bidang K2 dan

bidang Akselerator periode tahun 1997-2006, diperlihatkan seperti pada Gambar. 2, sebagai berikut :



Gambar. 2. Uji Beda Rerata Dosis Radiasi Antar Kelompok Per Lima Tahun

Berdasarkan Gambar. 2, di atas dapat dilihat bahwa gambaran beda rerata antar kelompok per lima tahun penerimaan dosis untuk ketiga bidang dari pekerja radiasi tersebut. Penerimaan beda rerata dosis yang paling tinggi terjadi pada tahun 2001-2005 untuk bidang reaktor sebesar 0.327 mSv, bidang K2 sebesar 0.598 mSv dan bidang akselerator sebesar 1.088 mSv. Berdasarkan uji beda rerata dosis paparan radiasi eksterna untuk ke tiga bidang dari tahun 1997-2006, perbedaan yang paling besar antar kelompok terjadi pada tahun 2001-2005 di bidang akselerator dibandingkan dengan bidang reaktor nuklir dan bidang K2. Berdasarkan hasil analisis tersebut di atas maka untuk mendapatkan tingkat keselamatan radiasi yang optimal bagi pekerja, maka instalasi yang mempunyai potensi bahaya radiasi harus menerapkan prosedur yang benar yaitu mendapatkan izin dari badan yang berwenang, memiliki sertifikat hasil pengujian *Acceptance Test* yang dihasilkan pabrikan alat untuk menjamin bahwa alat ukur radiasi masih dalam batas spesifikasi yang telah ditetapkan, memiliki catatan tentang kondisi peralatan untuk menjamin keselamatan pemakaian, merawat dan melakukan pengujian/kalibrasi secara berkala untuk memastikan alat masih sesuai dengan spesifikasinya. Disamping mengacu Peraturan Pemerintah Nomor 33 tahun 2007 tentang penerapan K3 radiasi di Instalasi yang mengoperasikan alat/ sumber radiasi, maka pekerja radiasi harus mendapatkan : 1). Pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi, sebelum bekerja (*pre-employment*), selama masa bekerja (*during employment*) dan sesudah bekerja (*post-employment*) sebagai pekerja radiasi. 2). Monitoring penerimaan paparan dosis radiasi setiap tahunnya. Sesuai dengan peraturan

pemerintah nomor 33 tahun 2007, maka harus dilakukan pengawasan kesehatan pada pekerja radiasi. 3). Mendapatkan pelatihan khusus secara periodik sebagai pekerja radiasi. Hal ini sesuai dengan penelitian Arifin (1995), menyatakan pemakaian peralatan pemantauan personil di suatu instalasi nuklir merupakan suatu keharusan untuk memberikan jaminan keselamatan bagi pekerja, sedangkan Hiswara (1993), menyatakan bahwa pemantauan dosis radiasi perorangan harus dilakukan untuk membatasi dosis radiasi pada pekerja dan dipenuhinya pembatasan dosis sesuai rekomendasi *ICRP* 1990.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan penelitian ini adalah : 1) Ada perbedaan tingkat penerimaan dosis radiasi pada pekerja radiasi pada kriteria tempat kerja untuk ke tiga bidang di kawasan BATAN Yogyakarta. Berdasarkan tingkat penerimaan dosis paparan radiasi yang dikelompokkan berdasarkan kriteria tempat pekerjaan, bahwa bidang reaktor merupakan pekerjaan yang mengandung resiko paparan radiasi eksterna paling tinggi dengan menghasilkan dosis total sebesar 245.89 mSv (48.49%), sedangkan bidang K2 sebesar 199.04 mSv (39.26%) dan bidang akselerator sebesar 62.11 mSv (11.25%), 2) Secara keseluruhan penerimaan dosis eksterna perorangan pada pekerja dari ketiga bidang yang dimonitor tersebut, masih jauh di bawah Nilai Batas Dosis yang diberlakukan pada K3 Radiasi yaitu di bawah batas maksimum yang direkomendasikan BAPETEN (SK No.01/Ka.BAPETEN/V/99) yang besarnya 50 mSv per tahun dan *ICRP* 1990 sebesar 20 mSv per tahun

Saran yang direkomendasikan berdasarkan hasil penelitian yaitu : 1). Untuk pihak manajemen BATAN dapat melakukan

pemonitoran paparan radiasi yang diterima pada pekerja secara periodik sehingga dapat diketahui tingkat penerimaan dosis radiasi pada pekerja di bidang Reaktor, bidang K2 dan bidang Akselerator di kawasan BATAN Yogyakarta. 2). Untuk peneliti lain dapat mengembangkan penelitian lebih lanjut tentang K3 radiasi, dan pemantauan radiasi pada pekerja dan lingkungan selalu dapat dimonitor secara periodik, sehingga keselamatan dan kesehatan pekerja dapat terjamin.

DAFTAR PUSTAKA

1. ARIFIN, KUSTIONO dan NOVIYANTI NOOR, 1995, "Evaluasi Terhadap Penerimaan Dosis Pekerja Radiasi Di Indonesia Selama Pelita V", Jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
2. AZHAR, 2005, "Perkembangan Proteksi Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Materi Rekualifikasi Petugas Proteksi Radiasi Bidang Instalasi Nuklir", Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta
3. BAPETEN, 2007, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif", Penerbit Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
4. BERKVENS, P, 2002, "Radiation Safety, Batan Accelerator School", Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
5. BUDIONO, AM, 2003, *Bunga rampai Hiperkes dan Keselamatan Kerja*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang
6. BAHRI, S, 2005, "Hubungan Persepsi Perawat Terhadap Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Pemakaian Alat Pelindung Diri di Badan Pelayanan Kesehatan Rumah Sakit Umum (BPK-RSU)", Dr. Zaenal Abidin Banda Aceh, Tesis Pascasarjana, Magister Kesehatan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
7. CEMBER, H., 1992, *Introduction to Health Physics*, Second Edition, Revised and Enlarged, Mc Graw-Hill, Inc., New York, USA.
8. DARUSSALAM, 1989, *Radiasi dan Radioisotop prinsip penggunaan dalam Biologi, Kedokteran dan Pertanian*, Badan Penerbit Tarsito, Bandung.
9. GUNING SRI, 2001, "Evaluasi Keselamatan Radiasi pada Pekerja di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju", Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta
10. HISWARA, E, 1991, "Pokok Pokok Dosimetri", Lokakarya Proteksi Radiasi, Pusat Standarisasi Dan Penelitian Keselamatan Radiasi (PSPKR), Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
11. HIDAYATI, NR, 2005, "Pengkajian Dosis Eksternal Seluruh Tubuh Pekerja Radiasi Pada Kondisi Kecelakaan Terparah Reaktor Kartini", Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta.
12. IAEA, 1994, "Safety Series No. 115-1, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources", International Atomic Energy Agency, Vienna.
13. ICRP, 1990, "Recommendation of the International Commission on Radiological Protection Publications 60", Pergamon Press, Oxford and New York, USA.
14. KNOLL, G.F., 1979, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, Inc., New York USA.
15. MARTIN, HARBISON, 1996, *An Introduction to Radiation Protection*, Chapman and Hall, New York, USA.
16. NOVIYANTI, 2005, "Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, Materi Rekualifikasi Petugas Proteksi Radiasi Bidang Instalasi Nuklir", Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
17. PRIATNA, 2003, *Bunga Rampai Hiperkes dan Keselamatan Kerja*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang
18. PURWANTO, 1983, "Fisika Kesehatan, Pendidikan dan Pelatihan Teknologi Reaktor dan Penggunaan Reaktor Kartini", Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
19. RINDAYANI. R, 2006, "Pengamanan Sumber Radiasi", Majalah Ilmiah Pendidikan dan Pelatihan, Penelitian dan Pengembangan Sains Widyanuklida Volume 2 Nomor 2, ISSN 1410-5357, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
20. PURWANINGTYAS, 2000, "Evaluasi Penerimaan Dosis Paparan Radiasi Pekerja,

- di Bidang Akselerator”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta
21. SASONGKO, WAHYU, INDRA, 2004, ”Alat Ukur Radiasi, Pendidikan dan Pelatihan Petugas Proteksi Radiasi”, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta.
 22. SUGIHARTO, 1993, ”Bahaya Radiasi Bagi Manusia”, Pelatihan Proteksi Radiasi, Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta.
 23. SUMAMUR PK, 1995, *Keselamatan Kerja dan Pencegahan Kecelakaan*, CV Gunung Agung, Jakarta.
 24. SUYITNO, G, 1993, ”Kesehatan Kerja dan Pengawasan Kesehatan Pekerja Radiasi”, Pendidikan dan Pelatihan Penyegaran Proteksi Radiasi Tingkat Teknisi, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
 25. SURATMAN, 1994, ”Radiasi Eksterna Interna”, Pendidikan dan Pelatihan Penyegaran Proteksi Radiasi dan Keselamatan Kerja Pendidikan dan Pelatihan Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta
 26. SURATMAN, 1996, ”Introduksi Proteksi Radiasi Bagi Mahasiswa Praktek”, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta.
 27. SOEGianto, 1991, ”Latar Belakang Penurunan Nilai Batas Dosis berdasarkan ICRP 60, Jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan”, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
 28. SUGIARTO, 1997, ”Aspek-aspek Biologi Proteksi Radiasi, Lokakarya Proteksi Radiasi”, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
 29. SUMARTONO, WASIS, 1999, ”Metodologi Penelitian Kesehatan Penuntun Latihan Metode Penelitian (Judul Asli : Health research Methodology A Guide for Training in research Methods, WHO, 1992)”, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Pusat Penelitian Penyakit Tidak Menular, Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
 30. WIRYOSIMIN S, 1995, *Mengenal Azas Proteksi Radiasi*, Penerbit FMIPA Institut Teknologi Bandung.
 31. WIDAYATI, LUBIS, TEDJASARI, YATIM S, 1997, *Evaluasi Keselamatan Pekerja di PPTA Serpong*, Jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan, ISSN: 0854-4085, Jakarta.
 32. WIHARTO, K, 1992 *Pengantar Keselamatan Kerja*, Diktat Pendidikan dan Pelatihan Kesehatan dan Keselamatan Kerja, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
 33. WIHARTO KUNTO, ISMONO, 1997, *Pemeriksaan Kesehatan Pekerja Radiasi, Proseding Lokakarya Penanggulangan Kedaruratan Nuklir*, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
 34. ZAHIR, S, 1993, *Pedoman umum Keselamatan dan Kesehatan Kerja*, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.

