

ISSN 0216-3128

**PROSIDING**  
**PERTEMUAN DAN PRESENTASI ILMIAH**  
**PENELITIAN DASAR ILMU PENGETAHUAN**  
**DAN TEKNOLOGI NUKLIR**

**Yogyakarta, 24 Juli 2018**



Diterbitkan oleh  
**Pusat Sains dan Teknologi Akselerator**  
**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**  
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb 55281, Telp. (0274) 488435, 484436  
Fax. (0274) 489762, e-mail:psta@batan.go.id  
Website : [www.batan.go.id/psta](http://www.batan.go.id/psta)  
YOGYAKARTA-INDONESIA

## **Editor/Penilai**

### **PSTA-BATAN**

Ir. Prayitno, MT  
Prof. Drs. Darsono, M.Sc.  
Prof. Ir. Syarip  
Prof. Drs. Samin  
Prof. Dr.rer.nat Trimardji Atmono  
Dr. Susilo Widodo  
Ir. Herry Poernomo, MT  
Drs. BA. Tjipto Sujitno, MT  
Ir. Gede Sutresna W., M.Eng.  
Drs. Djoko Slamet Pujoraharjo  
Dra. Elizabeth Supriyatni, M.Sc.App  
Drs. Silakhuddin, M.Si  
Suyanti, S.ST  
Jumari, S.ST.  
Rany Saptaaji, ST  
Saminto, ST  
Tri Handini, SST

### **BBKKP-DEPERINDAG**

Ir. Dwi Wahini Nurhayati, M.Eng

### **UGM**

Prof. Dr. Kusminarto

### **Prosiding**

Fajar Sidik P, Badiwiyyana, R Sudibyo

## KATA PENGANTAR

**P**uji Syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan karuniaNya sehingga kami dapat menyelesaikan dan menerbitkan Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir Nuklir Dasar dan Terapan tahun 2018 dengan mengambil tema:

### **“SINERGI PUSAT UNGGULAN DALAM RANGKA PENINGKATAN KAPASITAS DISEMINASI IPTEK NUKLIR”.**

Penerbitan prosiding ini merupakan dokumentasi karya ilmiah para peneliti, akademisi dan praktisi dari berbagai disiplin ilmu yang berkaitan dengan sains dan teknologi nuklir dalam mendukung era industrialisasi, dan telah dipresentasikan pada tanggal 24 Juli 2018 di PSTA BATAN Yogyakarta. Pertemuan dan presentasi ilmiah ini diselenggarakan yang ke XXXII, dan merupakan kegiatan rutin tahunan di PSTA-BATAN dengan tujuan untuk mengetahui perkembangan aktivitas penelitian yang telah dicapai oleh para peneliti

Pembukaan Pertemuan dan Presentasi Ilmiah ini dilakukan oleh Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Bapak Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto dan dilanjutkan dengan Ceramah Umum I Oleh Bapak Hadi Sundoyo, M.B.A (PT. Timah Indonesia) dengan judul SINERGI TERKAIT TEKNOEKONMI BISNIS ANTARA INDUSTRI DENGAN LEMBAGA RISET PADA LOGAM TANAH JARANG, dilanjutkan dengan Ceramah Umum II Oleh Dr. Ir. Agus Hadi Santosa Wargadipura, M.Sc (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi - BPPT) dengan judul INOVASI IMPLAN TULANG BIOMETALIK SS316L BERBASIS SUMBER DAYA LOKAL .

Di dalam buku prosiding ini berisi karya tulis ilmiah yang telah dipresentasikan dalam Seminar Nasional Iptek Nuklir Dasar dan Terapan sebanyak 73 makalah yang disampaikan dalam sidang oral dan paralel. Karya tulis ilmiah tersebut berasal dari BATAN (56), UGM (2), UNY (2), ITS (1), UNS (4), POLTEKES KEMENKES (1), UNAS (3), UNIVERSITAS AISYIYAH (2), BALAI KERAJINAN DAN BATIK (1) dan PT. INUKI (1). Prosiding ini telah melalui proses penilaian dan editing oleh dewan editor/penilai karya tulis ilmiah serta dilengkapi dengan diskusi dan tanya jawab pada saat seminar berlangsung.

Semoga penerbitan prosiding ini dapat bermanfaat sebagai bahan acuan ilmiah untuk lebih memacu dan mengembangkan penelitian dan pengembangan di masa yang akan datang. Kepada semua pihak yang telah ikut membantu penerbitan prosiding ini kami ucapan terima kasih.

Yogyakarta, Oktober 2018

Editor

**SAMBUTAN**  
**PLT KEPALA PUSAT SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**AKSELERATOR - BATAN**

Dengan mengucapkan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, kami sampaikan terima kasih kepada Tim Editor dan semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian dan penerbitan prosiding ini. Prosiding ini merupakan dokumentasi karya ilmiah para peneliti yang telah dipresentasikan pada tanggal 24 Juli 2018 dengan tema "**SINERGI PUSAT UNGGULAN DALAM RANGKA PENINGKATAN KAPASITAS DISEMINASI IPTEK NUKLIR**". Prosiding ini melibatkan berbagai disiplin ilmu, yang berkaitan dengan penelitian dasar dan terapan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir. Di dalam prosiding ini dapat diketahui beberapa permasalahan yang mencakup kemajuan dan perkembangan litbang ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir, yang telah diupayakan oleh para peneliti di dalam lingkungan BATAN sendiri yaitu di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, maupun dari luar BATAN.

Hasil penelitian dalam prosiding ini diharapkan dapat menjadi salah satu basis terwujudnya sinergi antara sesama pusat unggulan, peneliti, akademisi, maupun dengan kalangan praktisi dan industri. Sinergi tersebut merupakan sarana mewujudkan produk dengan kandungan lokal optimal yang mempunyai daya saing serta meningkatkan kapasitas diseminasi ilmu pengetahuan di bidang nuklir.

Akhirnya kami berharap, semoga prosiding ini menjadi acuan ilmiah yang bermanfaat bagi berbagai pihak yang berkepentingan dan yang memerlukan, dengan demikian dapat lebih mendalam dan mengembangkannya, demi berhasilnya pembangunan nasional di bidang Iptek nuklir untuk kesejahteraan bangsa dan negara Indonesia.



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b>	i
<b>EDITOR</b>	ii
<b>PENGANTAR EDITOR</b>	iii
<b>SAMBUTAN PLT KEPALA PSTA-BATAN</b>	iv
<b>DAFTAR ISI</b>	v – xii
<b>CERAMAH UMUM 1</b>	
SINERGI TERKAIT TEKNOEKONMI BISNIS ANTARA INDUSTRI DENGAN LEMBAGA RISET PADA LOGAM TANAH JARANG	xiii - xx
<i>Hadi Sundoyo</i>	
<b>CERAMAH UMUM 2</b>	
INOVASI IMPLAN TULANG BIOMETALIK SS316L BERBASIS SUMBER DAYA LOKAL	xxi - xlviii
<i>Agus Hadi Santosa Wargadipura</i>	
OPTIMASI SISTEM GRID PLASMA EMITTER SUMBER ELEKTRON KATODA PLASMA	1 - 4
<i>Ihwanul Aziz, Vika Arwida Fanita Sari</i>	
UJI FUNGSI DETEKTOR FISSION CHAMBER UNTUK SISTEM INSTRUMENTASI REAKTOR SAMOP	5 - 8
<i>Dewita, Wantono, Jani Budi Setiawan</i>	
STUDI PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN KEAMANAN DI KAWASAN NUKLIR YOGYAKARTA SESUAI SB 009-BATAN: 2010	9 - 16
<i>Munadi, Ratmi Herlani, Basuki, Edi Purwanta</i>	
PEMBUATAN SISTEM KENDALI MANUAL PENGGERAK BATANG PENGAMAN PADA REAKTOR SAMOP BERBASIS MIKROKONTROLER.	17 - 22
<i>Moch. Rosyid</i>	
RANCANGBANGUN SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI CATU DAYA KATODA SUMBER ION PADA SIKLOTRON DECY-13	23- 30
<i>Saminto, Anang S, Eko Priyono, Kurnia W.</i>	
RANCANGAN PERANGKAT SISTEM PERINGATAN DINI REAKTOR TRIGA-2000 BAHAN BAKAR TIPE PELAT PSTNT-BATAN BANDUNG	31 - 38
<i>Eko Priyono, Saminto dan Anang Susanto</i>	

---

PENGEMBANGAN SURVEY METER DIGITAL MODEL SMD-02 BERBASIS MIKROKONTROLER ATMega 8	39 - 44
<i>Jumari, Nurhidayat Supriyanto, Heryuli Aditesna</i>	
PERHITUNGAN PERISAI RADIASI MESIN BERKAS ELEKTRON 350 keV/10 mA YANG MEMENUHI PERATURAN KEPALA BAPETEN No. 4 TAHUN 2013	45 - 50
<i>Rany Saptaaji, Sutadi, Elin Nuraini</i>	
RANCANGAN PANEL DISTRIBUSI DAYA LISTRIK UNTUK SIKLOTRON DECY 13	51 - 58
<i>Anang Susanto, Saminto, Eko Priyono</i>	
PENENTUAN BEBAN INDENTOR IDEAL MICRO VICKERS HARDNESS TESTER MATSUZAWA MMT-X7	59 - 62
<i>Vika Arwida Fanita S, Ihwanul Aziz</i>	
PERHITUNGAN YIELD NEUTRON PADA PRODUKSI 18F SIKLOTRON DECY-13	63 - 66
<i>Suharni dan Silakhuddin</i>	
PENGARUH GAS ARGON DAN HELIUM TERHADAP KEKERASAN DAN KONSUMSI DAYA LISTRIK PADA PELAPISAN DIAMOND LIKE CARBON	67 – 72
<i>Suprapto, Tjipto Sujitno, Ihwanul Aziz dan Wiwien Andriyanti</i>	
PEMBUATAN PERANGKAT LUNAK REKONSTRUKSI CITRA UNTUK KOMPUTASI TOMOGRAFI SINAR-X	73 - 80
<i>Andeka Tris Susanto, Kristedjo Kurnianto, Demon Handoyo, Fitri Suryaningsih</i>	
KONSENTRASI RADON DI RUMAH PENDUDUK DI WILAYAH KALIMANTAN BARAT	81 - 88
<i>Wahyudi, Kusdiana, Muji Wiyono, Dadong Iskandar</i>	
KARAKTERISTIK BERKAS FOTON 6 MV PESAWAT PEMERCEPAT LINIER MEDIK SHINVA	89 - 94
<i>Assef Firmando Firmansyah, Sri Inang Sunaryati</i>	
MODIFIKASI PANEL KONTROL SISTEM POMPA PENDINGIN PRIMER RSG-GAS UNTUK MENINGKATKAN KEANDALANNYA	95 - 104
<i>Kiswanto, Nugroho Luhur</i>	
ANALISIS RESPON KOMPONEN BIAYA POKOK PRODUKSI LISTRIK TERHADAP KETERLAMBATAN WAKTU KONSTRUKSI PLTN	105 - 114
<i>Rizki Firmansyah Setya Budi, Nuryanti</i>	
PERANCANGAN SISTEM AKUISISI DAN KENDALI GENERATOR RF SIKLOTRON DECY-13	115 - 118
<i>Fajar Sidik P, Agus Dwi A dan Agus Wijayanto</i>	
RANCANG BANGUN PENANGKAP CITRA DIGITAL RADIOGRAFI DAN CT SINAR-X MENGGUNAKAN KAMERA RASPBERRY PI	119 - 124
<i>Fitri Suryaningsih, Demon Handoyo, Dian F Atmoko</i>	

---

PENGARUH IMPLANTASI ION NITROGEN PADA ALUMINIUM TERHADAP PENINGKATAN KEKERASAN PERMUKAAN	125 - 128
<i>Muhammad Aziz Aljabbar, Dwi Priyantoro, Tjipto Sujitno</i>	
ANALISA LOAD CELL SEBAGAI SENSOR UNTUK PENIMBANG	129 - 132
<i>Totok Dermawan, Sukarsono, Endah Putri Handayani</i>	
KONSTRUKSI DAN UJI FUNGSI PENGATUR TEGANGAN PADA PERANGKAT CENTRIFUGE GL	133 - 138
<i>Triyono, Sudibyo</i>	
RANCANG BANGUN PANEL INSTRUMEN PADA MINI PILOT REAKTOR TANGKI BERPENGADUK	139 - 146
<i>Triyono</i>	
RANCANG BANGUN MONITOR RADIASI RUANG PENYIMPANAN KAMERA GAMMA BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA32	147 - 156
<i>Isti Dian Rachmawati, Adi Abimanyu</i>	
PEMBUATAN KONSENTRAT ITRIUM SEBAGAI UMPAN EKSTRAKSI	157 - 160
<i>Tri Handini, Wahyu Rachmi P, Harry Supriadi</i>	
REVITALISASI SISTEM MEKANIK DAN ELEKTRIK PADA UNIT PELINDIAN AIR	161 - 164
<i>Sudaryadi, Sajima</i>	
PENGAMBILAN SILIKAT DARI LEBURAN KONSENTRAT ZIRKON MENGGUNAKAN REAKTOR TANGKI BERPENGADUK PILOT PLANT	165 - 170
<i>Sajima, Sudaryadi</i>	
PEMISAHAN LANTANUM, CERIUM DAN NEODIMIUM MELALUI DEKOMPOSI SI TERMAL DAN LEACHING MEMAKAI HNO <sub>3</sub> ENCER	171 - 178
<i>MV Purwani, Triyono, Suprihati, R Sudibyo dan Suyanti</i>	
TINGKAT RADIOAKTIVITAS DAN FAKTOR TRANSFER TANAH KE TANAMAN RADIONUKLIDA ALAM DARI DAERAH SEKITAR PLTU TUBAN	179 - 184
<i>Sukirno, Sri Murniasih</i>	
FAKTOR PENGKAYAAN <i>TRACE ELEMENTS</i> DI DALAM <i>FLY ASH</i> DAN <i>BOTTOM ASH</i> SEBAGAI DAMPAK PEMBAKARAN BATUBARA	185 - 190
<i>Sri Murniasih dan Sukirno</i>	
APLIKASI NEUTRON EPITHERMAL UNTUK ANALISIS <i>TRACE ELEMENTS</i> PADA SAMPEL BIOLOGIS	191 - 196
<i>Sri Murniasih dan Sukirno</i>	
SISTEM AKUISISI DATA SUMBER DAYA MAGNET MPS 8500 DAN KARAKTERISASINYA UNTUK PENGOPERASIAN SIKLOTRON DECY-13	197 - 202
<i>Fajar Sidik P dan Suharni</i>	

---

KAJIAN TUGAS DAN TANGGUNG JAWAB FISIKAWAN MEDIK DI RUMAH SAKIT <i>Suzie Darmawati</i>	203 - 208
KOMPARASI PENENTUAN NILAI PEMBATAS DOSIS ANTARA METODE QUARTILISASI DOSIS MAKSIMUM DENGAN METODE DISTRIBUSI FREKUENSI PADA ZONA QUARTIL ATAS <i>Suhaedi Muhammad</i>	209 - 214
PENENTUAN NILAI TEBAL PARO PENAHAN RADIASI BETATRON 7 MeV <i>Djoli Soembogo</i>	215 - 220
ANALISIS KELAYAKAN FINANSIAL: IMPLEMENTASI PROYEK PLTN TEKNOLOGI APR-1400 DI INDONESIA <i>Nuryanti, Elok Satiti Amitayani, Rizki Firmansyah Setya Budi</i>	221- 228
PENENTUAN LUARAN BERKAS ELEKTRONENERGI NOMINAL 4, 6, 9, 12, DAN 15 MeV DARI PESAWAT PEMERCEPAT LINIER MEDIK VARIAN MENGGUNAKAN DUA BUAH FANTOM AIR <i>Assef Firnando Firmansyah</i>	229 - 232
PERHITUNGAN REAKTIVITAS LEBIH ( <i>EXCESS REACTIVITY</i> ) PADA TERAS PENUH REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG BERBAHAN BAKAR PELAT <i>Iza Shafera Hardiyanti, Riyatun, Suharyana, Azizul Khakim</i>	233 - 236
ANALISIS DAN VERIFIKASI KOMPUTASIONAL REAKTIVITAS LEBIH TERAS DAN REAKTIVITAS MARGIN PADAM TERAS REAKTOR KARTINI <i>Umar Sahiful Hidayat, Alexander Agung, Andang Widi Harto</i>	237 - 244
PENGEMBANGAN VIRTUAL AKSELERATOR SISTEM MAGNET <i>DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL CYCLOTRON YOGYAKARTA-13 MEV (DECY-13) BERBASIS ANDROID</i> <i>Adyapaka Cestaprabha, Adi Abimanyu, Joko Sunardi, Agus Dwiatmaja</i>	245 - 250
SIFAT OPTIK LAPISAN TIPIS <i>TITANIUM NITRIDE TiN HASIL DEPOSISI SPUTTERING DC</i> <i>Nurfitriyana Ramadhani Isnuwati, Ariswan, Ihwanul Aziz, Tjipto Sujitno</i>	251 - 254
MODIFIKASI KARAKTERISTIK MATERIAL REM CAKRAM DENGAN MENGGUNAKAN IMPLANTASI ION NITROGEN <i>Ahmad Zainuri,, Tjipto Sujitno, Bangun Pribadi</i>	255 - 260
PENENTUAN <i>BAND GAP</i> DAN KONDUKTIVITAS BAHAN SEMIKONDUKTOR LAPISAN TIPIS Sn(S0,8Te0,2) DAN Sn(S0,6Te0,4) HASIL PREPARASI DENGAN TEKNIK EVAPORASI TERMAL <i>Tyas Puspitaningrum, Tjipto Sujitno, Ariswan</i>	261 - 266
SIMULASI PERHITUNGAN SHUTDOWN MARGIN REAKTOR KARTINI YANG DIHUBUNGKAN DENGAN FASILITAS SAMOP MENGGUNAKAN MCNP6 <i>Nindya DyahAyu Anggraini, Suharyana, Riyatun, Azizul Khakim</i>	267 - 272

---

---

EFEKTIFITAS DIVERSIFIKASI BAHAN DINDING PERISAI RADIASI MENGGUNAKAN BETON RINGAN (HEBEL) YANG DILAPISI TIMAH HITAM (PB)	273 - 280
<i>Sri Mulyati, Siti Daryati, Ardi Soesilo Wibowo</i>	
IDENTIFIKASI KETERDAPATAN THORIUM DI DAERAH PANGKAL PINANG DAN SEKITARNYA, PROPINSI BANGKA BELITUNG	281 - 288
<i>Ngadenin, F. D. Indrastomo, Widodo</i>	
KARAKTERISASI ADSORBEN MAGNESIUM-ALUMINIUM-EDTA HYDROTALCITE MENGGUNAKAN INSTRUMEN X-RAY DIFFRACTION (XRD) DAN FOURIER-TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY (FTIR)	289 - 294
<i>Titin Aryani, Roto, Mudasir</i>	
KANDUNGAN NUTRISI BERAS HITAM ( <i>ORYZA SATIVA L.</i> ) HASIL PEMULIAAN TANAMAN DENGAN SINAR GAMMA $^{60}\text{CO}$	295 - 298
<i>Naila Wahyu Istanti, Raudya Ajeng Nabila, Shanti Listyawati, Sutarno</i>	
PREPARASI URANIL NITRAT UNTUK BAHAN BAKAR REAKTOR SAMOP DAN PROSES PEMISAHAN ISOTOP $^{99}\text{Mo}$	299 - 302
<i>Donny Kurniaji, Nurcholis, Endang Susiantini</i>	
UPTAKE RADIOAKTIVITAS TC- $^{99\text{M}}$ MDP PADA DAERAH LUTUT DAN SACROILLIAC JOINTS DARI PASIEN KANKER PROSTAT YANG DILAKUKAN PEMERIKSAAN BONE SCAN	303 - 312
<i>Jhon Hadearon Saragih, Rozi Irhas, Fadil Nazir, Budi Santoso</i>	
AKLIMATISASI TANAMAN LEMNA MINOR DAN AZOLLA MICROPHYLLA TERHADAP LINDI TPA PIYUNGAN PADA TAHAP AWAL FITOREMEDIASI	313 - 318
<i>Nurmalinda, Ahmad Tawfiequrrahman Yuliansyah, Agus Prasetya</i>	
PENGGUNAAN KEMBALI ZAT RADIOAKTIF TERBUNGKUS YANG TIDAK DIGUNAKAN	319 - 324
<i>Moch Romli1, Ajrieh Setyawan, Slamet Wiyuniati, Suhartono</i>	
PERBANDINGAN ANTARA NILAI GLOMERULAR FILTRATION RATE DARI KAMERA GAMMA DENGAN HITUNGAN SECARA MANUAL PADA PEMERIKSAAN RENOGRAM TC- $^{99\text{M}}$ DTPA	325 - 330
<i>Khaerul Ansory, Fadil Nazir, Syarifuddin, Nihayati Riski</i>	
SIMULASI UNJUK KERJA FILTER ALUMUNIUM PADA PESAWAT SINAR-X DIAGNOSTIK MENGGUNKAN SOFTWARE MCNP6	331 - 336
<i>Ana Melia Wahyanti, Suharyana, Riyatun</i>	
ANALISIS KEBOCORAN RUANG PEMERIKSAAN SATU DI INSTALASI RADIOLOGI RSUD PANEMBAHAN SENOPATI BANTUL	337 - 342
<i>Asih Puji Utami Trisna Budiwati Bonifilio Silvinus Garus</i>	

SIFAT-SIFAT ANTIMICROBIAL LAPISAN TIPIS AgTiO <sub>2</sub> HASIL DEPOSISI RF-SPUTTERING	343 - 348
<i>Agung Purniawan, Pradita Kusumah Wardani, Trimardji Atmono</i>	
DESAIN PERANGKAT PENGUKURAN ENERGI PARTIKEL PROTON DENGAN TEKNIK AKTIVASI TUMPUKAN KEPING PADA SIKLOTRON DECY-13	349 - 354
<i>Silakhuddin, Rian Suryo Darmawan</i>	
PENGUJIAN AWAL PERANGKAT-PERANGKAT SIKLOTRON DECY-13	355 - 358
<i>Kurnia Wibowodan Silakhuddin</i>	
PENYESUAIAN NILAI IMPEDANSI KOMPONEN COUPLER SISTEM RF DEE SIKLOTRON DECY-13	359 - 362
<i>Rian Suryo Darmawan, Agus Dwiatmaja</i>	
KONDISIONING SISTEM VAKUM MBE 300 KeV/20 mA. SEIRING DENGAN TARGET PENINGKATAN KINERJA MBE LATEKS 300k KeV/20 mA	363 - 368
<i>Sutadi, Elin Nuraini, Agus Dwiatmaja</i>	
ANALISIS PERANCANGAN SISTEM INSTRUMENTASI PERANGKAT PENGATUR POSISI SUMBER ION DECY-13	369 - 376
<i>Saefurrochman, Saminto, Anang Susanto</i>	
KONDISIONING SUMBER TEGANGAN TINGGI ( STT) MESIN BERKAS ELEKTRON BEJANA HORISONTAL	377 - 382
<i>Elin Nuraini, Sutadi, Agus Dwiatmaja</i>	
PROSES OKSIDASI PLASMA PADA PERMUKAAN CP-TITANIUM MENGGUNAKAN METODE PLASMA LUCUTAN PIJAR	383 - 388
<i>Wiwien Andriyanti, Maya Kusumawardani, Dwi Priyantoro</i>	
KALIBRASI ALAT UKUR TEKANAN UNTUK FASILITAS PENDINGIN IEBE-PTBBN	389 - 394
<i>Ahmad Paid, Eko Yuli Rustanto, Junaedi, Hendro Wahyono</i>	
ANALISIS KERAGAMAN GENETIK KAPANG ASPERGILLUS NIGER YANG DIIRADIASI SINAR GAMMA MENGGUNAKAN MARKA RAPD	395 - 400
<i>Dadang Sudrajat, Nana Mulyana, Tri Retno, D.L., Rika Heryani</i>	
EFEKTIVITAS IMPREGNASI TBP, D2EHPA DAN CAMPURAN TBP-D2EHPA PADA RESIN AMBERLITE XAD-16 SEBAGAI SOLVENT IMPREGNATED RESIN (SIR) URANIUM DARI MONASIT	401 - 404
<i>Riesna Prassanti, Budi Yuli Ani, Sumiarti</i>	
STUDI RISIKO RADIOLOGIS TENORM DALAM LINGKUNGAN OPERASI PENGEBORAN MINYAK DI PT. PERTAMINA EP REGION JAWA	405 - 414
<i>Siswanti, M. Yazid, R I. Hapsari</i>	

KAJIAN AWAL ANALISIS KESELAMATAN RADIASI TECHNOLOGICALLY-ENHANCED NATURALLY OCCURRING RADIOACTIVE MATERIAL (TENORM) DI PUSAT SAINS DAN TEKNOLOGI AKSELERATOR (PSTA) 415 - 418

*Elisabeth S., Mahrus Salam, Eko Lestariningsih*

PERANCANGAN SISTEM KENDALI OPERASI PERALATAN KH-IPSB3 BERBASIS PROGRAMABLE LOGIC CONTROL 419 - 430

*Budiyono, Parjono, Sugianto, Purwantoro, Gatot Sumartono*

UJI DINGIN FUNGSI FASILITAS PENGELOLAAN LIMBAH CAIR DI LABORATORIUM RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA 431 - 434

*Rr.Djarwanti RPS, Fath Priyadi, Agung Supriyanto, Didik Setiaji*

ANALISIS UNSUR LOGAM BERAT PADA LIMBAH CAIR INDUSTRI BATIK DENGAN METODE ANALISIS AKTIVASI NEUTRON (AAN) 435 - 440

*Lilin Indrayani*

ANALISIS HASIL KALIBRASI SURVEYMETER MENGGUNAKAN SUMBER  $^{137}\text{Cs}$  441- 446 TERKOLIMASI DAN PANORAMIK

*Sita Purwajati, C. Tuti Budiantarari , Puji Hartoyo, Susilo Widodo*

PLASMA KARBURIZING BAJA AISI 4340 DAN KARAKTERISASINYA 447 - 452

*BA.Tjiptto Sujitno, Suprapto, Wiwien Andriyanti,, Didy Suharlan, Viktor Malau*



## ANALISIS HASIL KALIBRASI SURVEYMETER MENGGUNAKAN SUMBER $^{137}\text{Cs}$ TERKOLIMASI DAN PANORAMIK

**Sita Purwajati<sup>1</sup>, C. Tuti Budiantarari<sup>2</sup>, Puji Hartoyo<sup>1</sup>, Susilo Widodo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional, Jakarta

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi –BATAN, Jakarta

<sup>3</sup>Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN, Yogyakarta

### ABSTRAK

Telah dilakukan kalibrasi beberapa surveymeter menggunakan dua jenis sumber radiasi yaitu sumber  $^{137}\text{Cs}$  terkolimasi dan  $^{137}\text{Cs}$  panoramik. Penelitian ini bertujuan untuk menilai kelayakan sumber  $^{137}\text{Cs}$  panoramik untuk digunakan sebagai sumber kalibrasi alat ukur radiasi dengan cara membandingkan dengan sumber  $^{137}\text{Cs}$  terkolimasi. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan metode penyinaran langsung terhadap alat ukur standar dan empat jenis surveymeter bermerk Ludlum, Radiagem 2000, Inspektor dan Monitor 4 secara substitusi dan tip top tip. Dari hasil kalibrasi telah diperoleh faktor kalibrasi untuk masing-masing surveymeter yang nilainya mendekati satu. Nilai faktor kalibrasi dari hasil pengukuran menggunakan sumber  $^{137}\text{Cs}$  panoramik tidak jauh berbeda dengan nilai faktor kalibrasi dari hasil pengukuran menggunakan sumber  $^{137}\text{Cs}$  terkolimasi. Dapat disimpulkan bahwa sumber  $^{137}\text{Cs}$  panoramik layak digunakan untuk mengkalibrasi surveymeter untuk keperluan rutin.

Kata kunci : kalibrasi, alat ukur radiasi,  $^{137}\text{Cs}$  terkolimasi,  $^{137}\text{Cs}$  panoramik,

### ABSTRACT

Calibration of several surveyometers have been conducted by using two types of radiation sources, e.g.,  $^{137}\text{Cs}$  collimated and panoramic sources. This research aims to assess the feasibility of a  $^{137}\text{Cs}$  panoramic source to be used as a calibration source for radiation measuring instrument by comparing with the  $^{137}\text{Cs}$  collimated source. Calibrations were done by using substitution and tip top tip methods by direct irradiation to a standard measuring instrument and four types of surveyometers e.g. Ludlum, Radiagem 2000, Inspector and Monitor 4. From the calibration results it have been obtained calibration factors for each surveyometer which are close to unity. The value of calibration factors of the measurement results using a  $^{137}\text{Cs}$  panoramic source are not much different from the value of calibration factors of the measurement results by using a  $^{137}\text{Cs}$  collimated source. It can be concluded that the measurements of the calibration factor with the  $^{137}\text{Cs}$  collimated source gives a result that are not much different from the  $^{137}\text{Cs}$  panoramic source. Thus a  $^{137}\text{Cs}$  panoramic source is suitable used to calibrate the surveymeter in routine uses.

Key Words : calibration, radiation measuring instruments, collimated  $^{137}\text{Cs}$ , panoramic  $^{137}\text{Cs}$

### LATAR BELAKANG

Upaya proteksi radiasi dengan memantau penerimaan dosis radiasi pada pekerja radiasi dan masyarakat sangat diperlukan untuk menjamin agar aturan terkait batas-batas keselamatan radiasi tidak terlampaui[1]. Surveymeter adalah alat ukur radiasi (AUR) yang lazim digunakan untuk pengukuran secara langsung dosis radiasi daerah kerja dalam besaran nilai paparan, laju paparan, kerma udara, ataupun dosis ekivalen *ambien* [2]. Menurut PERKA BAPETEN No.1/2006 alat ukur radiasi harus dikalibrasi setiap tahun [3]. Tujuan kalibrasi adalah selain untuk memperoleh ketepatan hasil pengukuran yang ditampilkan oleh alat ukur tersebut juga untuk menjaga ketertelusuran hasil

pengukuran terhadap sistem satuan internasional. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk kalibrasi alat ukur radiasi untuk tujuan proteksi radiasi, antara lain metode substitusi dan metode tip top tip[4]. Berbagai macam sumber radiasi dapat digunakan untuk keperluan kalibrasi, salah satu di antaranya adalah sumber radiasi  $^{137}\text{Cs}$  yang merupakan radioisotop pemancar gamma dengan energy 662 keV dengan waktu paruh cukup panjang yaitu sebesar  $11018.3 \pm 9.5$  hari atau  $> 30$  tahun)[5].

Perancangan fasilitas kalibrasi AUR tingkat proteksi dengan sumber radiasi gamma dapat mengacu kepada dokumen IAEA Safety Reports Series No.16 [6]. Ada dua jenis sumber yang lazim digunakan untuk kalibrasi AUR yaitu sumber yang memancarkan radiasi ke seluruh ruangan (sudut ruang  $360^\circ$ ) biasa disebut sumber panoramik dan

sumber radiasi yang memancarkan radiasi ke satu arah tertentu saja, biasa disebut sumber terkolimasi. Selama ini sumber terkolimasi telah banyak digunakan dalam analisis kinerja berbagai jenis AUR standar untuk pengukuran kerma udara[6]. Sumber terkolimasi tipe OB-85 adalah sumber yang digunakan oleh sejumlah besar Laboratorium Standar Sekunder (SSDL) di dunia [7,8]. Sementara itu sumber jenis panoramik masih jarang digunakan untuk keperluan kalibrasi, kecuali untuk kebutuhan pengukuran *in situ* Gatot W dkk. [9] telah mencoba memanfaatkannya pada situasi AUR lapangan yang tidak dapat dipindahkan dengan mudah. Usaha pemanfaatan sumber panoramik untuk kalibrasi dengan jalan memasang kolimator juga telah dilakukan oleh C.C. Arwui dkk. [10]. Sementara itu Muhijrah dkk.[11] telah mencoba menganalisis dosis keluaran sumber  $^{137}\text{Cs}$  panoramik pada proses kalibrasi pen dosimeter. Pada tahun 1980an, Burges,PH and White D.F.[12] telah melakukan investigasi perbedaan respon sejumlah AUR tingkat proteksi (dengan detektor kamar pengionan, pencacah Geiger Muller, pencacah sintilasi) yang dikalibrasi menggunakan sumber terkolimasi dan panoramik (*free air*), namun dengan menggunakan sumber pemancar gamma  $^{226}\text{Ra}$  yang saat ini sudah jarang digunakan lagi. Hasil investigasi telah dapat mengidentifikasi beberapa masalah antara lain, dengan sumber terkolimasi sulit diperoleh kesetimbangan sekunder, sementara dengan sumber panoramik pada jarak yang dekat akan terjadi kelebihan elektron yang terhambur. Karena saat ini lebih banyak digunakan sumber pemancar gamma  $^{137}\text{Cs}$ , maka cukup menarik untuk dilakukan investigasi tentang karakteristik AUR jenis surveymeter yang dikalibrasi dengan menggunakan berkas radiasi yang berasal dari sumber  $^{137}\text{Cs}$  terkolimasi dan panoramik.

## DASAR TEORI

Kalibrasi AUR adalah tindakan membandingkan bacaan alat tersebut terhadap bacaan AUR standar atau tindakan menyinari alat tersebut dalam medan radiasi yang telah diketahui karakteristiknya melalui sumber standar atau AUR standar pada kondisi acuan [3]. Kalibrasi bertujuan untuk menjamin bacaan suatu AUR tertelusur ke sistem satuan internasional baik melalui laboratorium dosimetri standar tersier, standar sekunder atau standar primer sehingga hasil suatu pengukuran mengandung kesesuaian dengan hasil pengukuran pihak lain.[6]. Adapun AUR standar yang digunakan dapat berupa AUR standar primer, AUR standar sekunder, maupun AUR standar tersier. AUR standar primer adalah AUR absolut yang mempunyai kualitas metrologi tertinggi yang mampu menentukan besaran yang diukur dari besaran dasar dan keakuratannya telah dibuktikan melalui uji banding terhadap standar sejenis dengan institusi yang berpartisipasi dalam sistem pengukuran internasional. Sementara itu AUR baik yang

terpasang tetap maupun *portable* yang digunakan dalam pengukuran rutin sehari-hari untuk keselamatan radiasi disebut sebagai AUR lapangan [3]. Ada dua teknik kalibrasi yaitu menggunakan sumber radiasi standar yang karakteristiknya telah diketahui atau dengan menggunakan AUR standar yang terkalibrasi ke laboratorium yang lebih tinggi tingkatannya[6]. Adapun kalibrasi dapat dilakukan dengan metode substitusi yaitu dengan cara AUR standar dan AUR lapangan diletakkan dalam medan radiasi yang sama dan diiradiasi secara bergantian, atau metode tip to tip yaitu AUR standar dan AUR diiradiasi secara bersamaan: [6].

### Faktor Kalibrasi

Faktor kalibrasi adalah faktor koreksi AUR yang menunjukkan perbandingan antara nilai kerma udara ( $\mathbf{Ku}$ ) atau dosis ekivalen ambient  $H^*(10)$  atau paparan ( $X$ ) yang sebenarnya (dari penunjukan AUR standar) dan nilai bacaan yang ditunjukkan oleh suatu AUR. Untuk menentukan faktor kalibrasi dihitung melalui Persamaan 1 berikut [5].

$$Fk = \frac{Ds}{Du} \quad (1)$$

dengan:

$Fk$  : Faktor kalibrasi

$Ds$  : Bacaan dosis AUR standar

$Du$  : Bacaan dosis AUR yang dikalibrasi

### Kerma Udara

Kerma udara,  $\mathbf{K}$ , menurut definisi adalah jumlah energi kinetik awal semua partikel pengion bermuatan yang dibebaskan oleh partikel tak bermuatan (*uncharged ionizing particles*) pada suatu bahan,  $dE_{tr}$ , dengan masa  $dm$ , sehingga dapat dituliskan dengan persamaan  $K = dE_{tr}/dm$  dengan satuan Gy atau  $\mu\text{Gy}$ . Karena suhu  $T$  dan tekanan  $P$  saat pengukuran tidak selalu dalam kondisi STP (suhu tan tekanan standar) maka perlu ada koreksi terhadap massa  $m$  dalam  $dm$  sehingga nilai  $K$  menjadi [7, 13]:

$$K_{PT} = K \frac{273,2 + T}{273,2 + T_0} \times \frac{P_0}{P} \quad (2)$$

Dengan  $P_0$  adalah tekanan udara referensi = 101,3 kPa,  $T_0$  adalah temperatur udara referensi =  $20^\circ$ ,  $P$  dan  $T$  masing-masing adalah tekanan dan temperatur terukur dalam ruang kalibrasi.

Kerma udara pada suatu titik acuan di udara yang diukur dengan AUR standar dapat dihitung dengan Persamaan 3 [7]:

$$Ku = (M - Mb_g) Nk \quad (3)$$

dengan  $M$  adalah nilai bacaan yang ditunjukkan oleh AUR standar yang telah dikoreksi dengan kondisi lingkungan (temperatur, kelembaban dan tekanan) saat diiradiasi,  $Mb_g$  adalah nilai cacah latar belakang atau arus bocor yang ditunjukkan oleh AUR standar yang telah dikoreksi dengan kondisi lingkungan (temperatur, kelembaban dan tekanan) saat tidak

disinari dengan sumber radiasi dan  $N_k$  adalah koefisien kalibrasi alat ukur radiasi dalam kerma udara [5].

#### Dosis ekivalen *ambient* $H^*(10)$ dan laju paparan ( $X$ )

Dosis ekivalen *ambient* setara dengan dosis di sekitar titik daerah radiasi. Hubungan antara nilai  $K_u$  dan nilai dosis ekivalen *ambient* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4 [5].

$$H^*(10) = 1,20 \times K_u \quad (4)$$

Laju paparan adalah paparan per satuan waktu. Hubungan antara nilai  $K_u$  dan laju paparan dapat dihitung dengan Persamaan 5 [5].

$$X = 0,114 \times K_u \quad (5)$$

### BAHAN DAN TATAKERJA

#### Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah:

- a. Kalibrator OB-85 berupa sumber  $^{137}\text{Cs}$  terkolidasi buatan Buchler GmbH, Jerman, dengan aktivitas sebesar 740 GBq atau sekitar 20 Ci pada tanggal acuan Mei 1985
- b. Kalibrator OB-34 berupa sumber  $^{137}\text{Cs}$  panoramik dengan aktivitas sekitar 74 MBq atau sekitar 2 mCi buatan Buchler GmbH, Jerman.
- c. Detektor kamar pengionan dan elektrometer Keithley 6517B yang telah dikalibrasi terhadap dosimeter standar PTKMR dengan detektor kamar pengionan Exradin A6 800cc dan elektrometer PTW Unidos Webline T10022.
- d. Empat jenis AUR tingkat proteksi berupa surveymeter bermerk Ludrum, Radiagem 2000 Reff76687, Inspector Sn.19437 dan Monitor 4 Sn.26140. Ke empat AUR tersebut menggunakan detektor Geiger Mueller dan dapat memberikan informasi laju dosis ekivalen ambien dalam satuan mSv/h atau laju paparan dalam satuan mR/h.
- e. Meja kalibrasi dan statif untuk meletakkan dan mengatur posisi surveymeter,
- f. Laser (untuk OB- 85) dan penggaris (untuk OB-34) untuk pengukur jarak
- g. Termometer, barometer dan higrometer untuk mengukur suhu, tekanan dan kelembaban ruang kalibrasi

#### TATA KERJA

Penelitian dilakukan di laboratorium PTKMR BATAN Pasar Jumat, Jakarta melalui beberapa tahap antara lain mengukur nilai bacaan kerma udara AUR standar dan menghitung laju dosisnya, dan kemudian dilakukan kalibrasi empat jenis AUR proteksi untuk sumber terkolidasi dan panoramik. Kalibrasi AUR dengan sumber terkolidasi dilakukan dengan metode substitusi sedangkan untuk kalibrasi dengan sumber

panoramik dilakukan dengan metode tip to tip. Pengukuran dalam rangka kalibrasi AUR dilaksanakan di dengan menggunakan kalibrator sumber radiasi terkolidasi OB-85 dan sumber radiasi panoramik OB-34. Kedua jenis kalibrator tersebut berada di ruangan yang berbeda. AUR proteksi yang dikalibrasi adalah surveymeter merk Ludlum, Radiagem 2000, Inspector, Monitor 4, sedangkan AUR standar yang digunakan adalah AUR yang telah terkalibrasi ke laboratorium yang lebih tinggi tingkatannya, yaitu Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder di PTKMR BATAN Kantor Pusat, Jakarta.

#### Analisis Data

Analisis data dimulai dengan menghitung hasil pengukuran kerma udara AUR standar dengan koreksi temperatur dan tekanan menggunakan Persamaan 2 dan koreksi arus bocor (cacah latar belakang) dengan Persamaan 3. Nilai dosis ekivalen ambien dihitung dengan menggunakan Persamaan 4 dan nilai laju paparan dihitung dengan menggunakan Persamaan 5. Dengan jalan yang sama dilakukan perhitungan koreksi tekanan, temperatur, dan cacah latar belakang terhadap data hasil pengukuran AUR yang dikalibrasi. Faktor kalibrasi setiap AUR tingkat proteksi yang dikalibrasi dihitung dengan Persamaan 1 setelah dilakukan penyesuaian data dengan besaran dan satuan yang digunakan pada masing-masing AUR.

#### Ketidakpastian Pengukuran

Ketidakpastian pengukuran ditentukan dengan mengacu pada pedoman penentuan ketidakpastian yang berlaku [14, 15, 16, 17]. Sumber-sumber ketidakpastian pengukuran yang dominan diidentifikasi dan diklasifikasikan menjadi ketidakpastian Tipe A untuk yang bersumber dari data simpangan baku dari nilai rata-rata hasil pengukuran berulang dan pengurangannya dengan bacaan latar belakang serta ketidakpastian Tipe B yang bersumber dari ketidakpastian dalam pengukuran jarak, waktu, tekanan udara, kelembaban, suhu dan ketidakpastian pada hasil kalibrasi AUR standar.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Perhitungan Data AUR Standar untuk Sumber $^{137}\text{Cs}$ Terkolidasi dan Panoramik

Karena nilai faktor kalibrasi ( $F_k$ ) suatu AUR yang dikalibrasi akan dihitung dengan Persamaan 1 yaitu dengan membandingkan nilai bacaan AUR standar ( $D_s$ ) dan suatu AUR yang dikalibrasi ( $D_u$ ) maka diperlukan data nilai bacaan AUR standar untuk sumber terkolidasi maupun panoramik. Untuk memperoleh data nilai bacaan AUR standar tersebut perlu dilakukan pengukuran kerma udara ( $K_u$ ) untuk masing-masing sumber. Data kerma udara kemudian digunakan untuk menghitung nilai laju paparan ( $X$ ) atau nilai dosis ekivalen ambien ( $H^*(10)$ ), masing-

masing dengan menggunakan Persamaan 5 dan Persamaan 4.

Untuk pengukuran kerma udara telah digunakan AUR standar yang terdiri atas detektor kamar pengionan dan elektrometer. Data kerma udara untuk sumber terkolidasi telah tersedia dari pengukuran terdahulu dengan menggunakan AUR Standar yang terdiri atas detektor kamar pengionan Extradin A6 vol 800cc dan elektrometer MAX 4000, sedangkan data kerma udara untuk sumber panoramik dilakukan pengukuran pada tanggal 16 Juli 2017 dengan menggunakan AUR Standar yang terdiri atas detektor kamar pengionan yang dihubungkan dengan elektrometer Keithley Model 6517B. AUR Standar ini sebelumnya telah dikalibrasi terhadap AUR Standar yang setingkat lebih tinggi di Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder di Kantor Pusat BATAN Jakarta. Pengukuran kerma udara dimulai dengan pengukuran arus bocor (cacah latar belakang) yang dilakukan sebelum dan sesudah sumber  $^{137}\text{Cs}$  terpasang. Hasil pengukuran ini digunakan untuk mengoreksi (mengurangi) hasil pengukuran kerma udara. Hasil akhir pengukuran kerma udara serta perhitungan nilai laju paparan dan nilai dosis ekivalen ambien disajikan pada Tabel 1. Hasil akhir pengukuran adalah nilai kerma udara yang telah dikoreksi dengan tekanan dan temperatur ruang kalibrasi. Kondisi ruang kalibrasi sumber terkolidasi adalah suhu 21,8 °C, tekanan 1005 mbar dan kelembaban 68%, sedangkan kondisi ruang kalibrasi sumber panoramik adalah suhu 20,1 °C, tekanan 1008 mbar dan kelembaban 60%

**Tabel 1.** Data kerma udara, nilai laju paparan, dan dosis ekivalen ambien AUR Standar untuk sumber  $^{137}\text{Cs}$  terkolidasi dan panoramik.

Jenis Sumber	Kerma Udara, $KU$	Laju Paparan, $X =$ ( $\square\text{Gy/h}$ )	Dosis ekivalen ambien, $H^*(10) =$ ( $\text{mR/h}$ )	( $\text{mSv/h}$ )
$^{137}\text{Cs}$ terkolidasi	$97,8 \pm 3,4$	$10,9 \pm 0,4$	$117,4 \pm 4,3$	
$^{137}\text{Cs}$ panoramik	$116,4 \pm 4,0$	$13,3 \pm 0,5$	$139,7 \pm 5$	

#### Hasil penentuan faktor kalibrasi AUR dengan sumber terkolidasi

Kalibrasi AUR proteksi (surveymeter) dengan sumber terkolidasi yang dilakukan pada tanggal 17 Juli 2017 dengan metode substitusi pada jarak antara sumber dan pencacah GM sebesar 100 cm memberikan hasil sebagaimana pada Tabel 2. Untuk

mendapatkan nilai bacaan rata-rata surveymeter, masing-masing AUR mendapatkan penyinaran selama 5 menit dengan tiga kali pengulangan. Untuk mendapatkan nilai laju dosis surveymeter maka nilai bacaan rata-rata pada Tabel 2 kolom 2 dikurangi dengan nilai bacaan rata-rata arus bocor pada Tabel 2 kolom 3. Dari pengurangan tersebut didapatkan nilai  $D_u$  (Tabel 2 kolom 4). Faktor kalibrasi AUR,  $F_k$ , pada Tabel 2 kolom 5 dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 yaitu dengan membandingkan antara data AUR standar yang disajikan pada Tabel 1 dan nilai laju dosis AUR proteksi yang dikalibrasi,  $D_u$ . Karena surveymeter merk Ludlum, Radiagem 2000 dan Inspektor mempunyai satuan  $\mu\text{Sv/h}$  maka faktor kalibrasinya dihitung menggunakan data AUR standar dosis ekivalen *ambien*, sedangkan untuk surveymeter Monitor 4 mempunyai satuan  $\text{mR}$  sehingga faktor kalibrasi dihitung menggunakan data AUR standar nilai laju paparan.

**Tabel 2.** Nilai bacaan rata-rata, nilai arus bocor (latar belakang) rata-rata empat buah surveymeter pada jarak 100 cm di medan radiasi terkolidasi.

Jenis Proteksi (satuan)	Nilai bacaan rata-rata	Nilai bacaan rata-rata arus bocor	Nilai laju dosis AUR proteksi ( $D_u$ )	Nilai laju dosis AUR standar ( $D_s$ )	Faktor Kalibrasi ( $F_k$ )
Ludlum ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$116,0 \pm 5,2$	$0,0 \pm 0,1$	$116,0 \pm 5,2$	$117,4 \pm 4,3$	$1,01 \pm 5,7\%$
Radiage m 2000 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$116,6 \pm 3,8$	$0,1 \pm 0,1$	$116,5 \pm 3,9$	$117,4 \pm 4,3$	$1,01 \pm 4,8\%$
Inspektor ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$110,9 \pm 3,4$	$0,2 \pm 0,1$	$110,7 \pm 3,5$	$117,4 \pm 4,3$	$1,06 \pm 4,7\%$
Monitor 4 ( $\text{mR/h}$ )	$11,5 \pm 0,5$	$0,1 \pm 0,1$	$11,6 \pm 0,6$	$10,9 \pm 0,4$	$0,95 \pm 5,3\%$

#### Hasil Kalibrasi Surveymeter dengan Menggunakan Sumber $^{137}\text{Cs}$ Panoramik

**Tabel 3.** Nilai bacaan rata-rata, nilai arus bocor (latar belakang) rata-rata empat buah surveymeter pada jarak 50 cm di medan radiasi panoramik.

Jenis Proteksi (satuan)	Nilai bacaan rata-rata	Nilai bacaan rata-rata arus bocor	Nilai laju dosis AUR proteksi ( $D_u$ )	Nilai laju dosis AUR standar ( $D_s$ )	Faktor Kalibrasi ( $F_k$ )
Ludlum ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$137,0 \pm 4,5$	$0,0 \pm 0,1$	$137,0 \pm 4,5$	$139,7 \pm 5,0$	$1,02 \pm 4,7\%$
Radiage m 2000 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	$140,6 \pm 7,6$	$0,1 \pm 0,1$	$140,5 \pm 7,6$	$139,7 \pm 5,0$	$0,99 \pm 6,4\%$

Inspektor	140,2	$0,2 \pm$	140,0	139,7	1,00 $\pm$
( $\mu\text{Sv}/\text{h}$ )	$\pm 1,5$	0,1	$\pm 1,5$	$\pm 5,0$	3,6%
Monitor	13,6 $\pm$	0,1 $\pm$	13,6 $\pm$	13,3	0,98 $\pm$
4	0,7	0,1	0,7	$\pm 0,5$	6,3%
(mR/h)					

Kalibrasi surveymeter dengan sumber  $^{137}\text{Cs}$  panoramik dilakukan pada tanggal 16 Juli 2017 dengan masing-masing surveymeter mendapatkan penyinaran selama 5 menit dengan tiga kali pengulangan, dengan jarak antara sumber dan detektor sebesar 50 cm. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 3 kolom 2 dan kolom 3 sedangkan perhitungan nilai **D<sub>u</sub>** dan **F<sub>k</sub>** diperoleh dengan cara yang sama dengan yang dilakukan pada Tabel 2.

### Hasil evaluasi ketidakpastian pengukuran

Telah disajikan pada Table 1 bahwa nilai ketidakpastian AUR standar untuk pengukuran kerma udara dengan sumber terkolimasi dalam nilai mutlak adalah sebesar 3,4  $\mu\text{Gy}/\text{h}$  atau sekitar 3,5%. Untuk surveymeter Ludlum diperoleh nilai simpangan baku dari nilai rata-rata sebesar 4,5%. Karena nilai estimasi ketidakpastian pengukuran jarak, suhu dan tekanan masing-masing hanya sebesar 0,01% maka tidak mempunyai kontribusi yang signifikan terhadap ketidakpastian total sehingga ketidakpastian total adalah 4,5% atau dalam nilai mutlak sebesar 5,2  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ . Kombinasi ketidakpastian AUR standar dan surveymeter ini akan menghasilkan nilai ketidakpastikan faktor kalibrasinya sekitar 5,7%. Dengan medote yang sama diperoleh ketidakpastian pengukuran untuk surveymeter Radiagem 2000, Inspektor dan Monitor 4 masing-masing sebesar 3,3%, 3,1%, dan 3,9% atau nilai mutlaknya dengan pembulatan ke atas sebesar 3,9  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 3,4  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  dan 0,6  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ . Dengan demikian dapat diperkirakan bahwa nilai ketidakpastikan faktor kalibrasinya berturut-turut adalah 4,8%, 4,7% dan 5,3% sebagaimana disajikan pada Tabel 2 kolom 6.

Telah disajikan pada Table 1 bahwa nilai ketidakpastian AUR standar untuk pengukuran kerma udara dengan sumber panoramik dalam nilai mutlak adalah sebesar 4,0  $\mu\text{Gy}/\text{h}$  atau sekitar 3,4%. Dengan metode yang sama dengan penentuan ketidakpastian pengukuran dengan sumber terkolimasi, diperoleh ketidakpastian pengukuran untuk surveymeter Ludlum, Radiagem 2000, Inspektor dan Monitor 4 masing-masing sebesar 3,3%, 5,4%, 1,1%, dan 5,3% atau nilai mutlaknya dengan pembulatan ke atas sebesar 4,5  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 7,6  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ , 1,6  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  dan 0,7  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ . Dengan demikian dapat diperkirakan bahwa nilai ketidakpastikan faktor kalibrasinya berturut-turut adalah 4,7%, 6,4%, 3,6% dan 6,3% sebagaimana disajikan pada Tabel 3 kolom 6.

### Pembahasan

Berdasarkan Tabel 2 (untuk sumber terkolimasi) diperoleh hasil faktor kalibrasi untuk surveymeter Ludlum Radiagem 2000, Inspector dan Monitor

berturut turut masing-masing sebesar 1,01, 1,01, 1,06 dan 0,95. Demikian pula dari Tabel 3 (untuk sumber panoramik) diperoleh hasil faktor kalibrasi untuk surveymeter Ludlum Radiagem 2000, Inspector dan Monitor berturut turut masing-masing sebesar 1,02, 0,99, 1,00 dan 0,98. Sesuai ketentuan ICRP faktor kalibrasi yang baik adalah bila mendekati satu, sedangkan nilai faktor kalibrasi yang masih dizinkan untuk AUR proteksi adalah berkisar antara  $\pm 20\%$  dari satu. Jadi nilai faktor kalibrasi untuk surveymeter tersebut masih sangat baik. Estimasi nilai ketidakpastian pengukuran yang berkisar antara 3% – 7% menunjukkan bahwa seluruh surveymeter memenuhi persyaratan untuk pengukuran dalam rangka proteksi radiasi. Selama ini PTKMR BATAN Pasar Jumat hanya menggunakan sumber  $^{137}\text{Cs}$  terkolimasi untuk mengkalibrasi AUR tingkat proteksi. Hasil pengukuran faktor kalibrasi dengan sumber panoramik tidak jauh berbeda dengan faktor kalibrasi sumber terkolimasi sehingga sumber panoramik cukup layak digunakan untuk mengkalibrasi surveymeter secara rutin.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis yang didapat nilai faktor kalibrasi dari sumber  $^{137}\text{Cs}$  panoramik tidak jauh beda dengan hasil nilai faktor kalibrasi dengan sumber  $^{137}\text{Cs}$  terkolimasi, jadi sumber  $^{137}\text{Cs}$  panoramik layak digunakan untuk mengkalibrasi surveymeter yang ada. Disarankan untuk sumber panoramik perlu memperhitungkan efek hamburan dinding dan udara yang dapat diestimasi dengan simulasi Monte Carlo.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kalibrasi PTKMR- BATAN yang dilaksanakan pada bulan Juli 2017.

### DAFTAR PUSTAKA

1. **Bapeten**, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 4 Tahun 2013. *Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 672 (2013).
2. **ISO .29661:2012 Reference Radiation Fields for Radiation Protection -- Definitions and Fundamental Concepts**. First Edition. (2012)
3. **Bapeten**, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 1 Tahun 2006. *Laboratorium Dosimetri, Kalibrasi Alat Ukur Radiasi, Keluaran Sumber Radiasi Terapi, dan Standardisasi Radionuklida* (2006).
4. **IAEA**, Technical Reports Series No.185. *Calibration of Dose Meters Used in Radiotherapy*. Vienna. (2000).
5. **M.P. Unterweger, D.D. Hoppe, F.J. Schima, and J.S. Coursey**, *Radionuclide Half-Life*

- Measurements Data.* National Institute of Standards and Technology (2016).
6. **IAEA**, Safety Reports Series No.16. *Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments*. Vienna. (2000)
7. **Nazaroh, Fendinugroho, Komparasi Pengukuran Laju Kerja Udara Pesawat OB-85 Menggunakan Alat Ukur Radiasi Standar Sekunder Dan Standar Turunannya**, Jurnal Standardisasi Vol 12, No.3 (2010) 202 – 212.,
8. **G. G. G. M. N. Hemamali, C. Kasige**, *Evaluation of Accuracy of Accumulated Dose of OB-85 Gamma Irradiator*, International Journal of Science and Research (IJSR) Vol. 3 (4) (2014) 2319 – 23.
9. **Gatot Wurdiyanto, C. Tuti Budiantari, Agung Nugroho**, *Kalibrasi Monitor Radiasi Secara In Situ Menggunakan Sumber  $^{137}\text{Cs}$* , Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan X (2004) 300 – 306.
10. **C.C. Arwui, P. Deatanyah, S. Wotorchi-Gordon, J. Ankaah, G. Emi-Reynolds, J.K. Amoako, S. Adu, M. Obeng, F. Hasford, H. Lawluvi, D. O. Kpeglo, E.K. Sosu**. *Assessment Of The Effectiveness Of Collimation Of Cs-137 Panoramic Beam on TLD Calibration Using a Constructed Lead Block Collimator and an ICRU Slab Phantom at SSDL in Ghana*. International Journal of Science and Technology, Vol. 1 No. 4, (2011) 169 -173
11. **Muhijrah, Bahari W, Abdul B**. *Analisis dosis keluaran radiasi dengan sumber Cs-137 pada proses kalibrasi pendosimeter*. Makasar: Universitas Hasanuddin. (2016).
12. **Burges,PH and White D.F.**, *A Comparison of Collimated and Free Air Radiation Sources in the Calibration of Radiation Protection Instrumens*. National Radiological Protection Board. Oxon OX11 ORQ. (1982).
13. **IAEA**, Technical Reports Series No.457. *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice*. Vienna (2000)
14. **BIPM**, Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), *International Vocabulary of Metrology- Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM)*. Paris (2008)
15. **Komite Akreditasi Nasional**. *Pedoman Evaluasi dan Pelaporan Ketidakpastian Pengukuran*. Jakarta (2003)
16. **Measurement Good Practice Guide No.49** *The Assesment of Uncertainty in Radiological Calibration and Testing*. United Kingdom (2005)
17. **Susilo Widodo**, *Penerapan Ketidakpastian Pengukuran dalam Regulasi Ketenaga Nukliran*. Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2017, 145-152. (2017).