

ISSN: 1412-3258

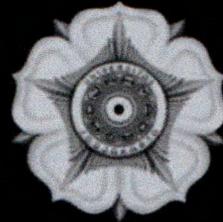


PROSIDING

 **SKN** 2017
Seminar Keselamatan Nuklir

TEMA:
Pengembangan Pengawasan Ketenaganukliran
Berbasis Teknologi Informasi dan
Komunikasi Publik

BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat 10120
Telp. (+62-21) 63858269/70, Fax. (+62-21) 63858275



PROSIDING

 **SKN 2017**
Seminar Keselamatan Nuklir

TEMA:
Pengembangan Pengawasan Ketenaganukliran
Berbasis Teknologi Informasi dan
Komunikasi Publik

BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat 10120
Telp. (+62-21) 63858269/70. Fax. (+62-21) 63858275

KATA PENGANTAR

Dr. Syahrir, M.Sc
Ketua Panitia

Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan berkat, rahmat dan kesehatan yang diberikan, sehingga prosiding Seminar Keselamatan Nuklir ini dapat terselesaikan dengan baik. Prosiding ini berisi kumpulan makalah-makalah dari para penyaji yang telah dipresentasikan dan didiskusikan pada acara Seminar Keselamatan Nuklir BAPETEN Tahun 2017 yang bertemakan “**Pengembangan Pengawasan Ketenaganukliran Berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi Publik**”.

Seminar ini terselenggara atas kerjasama Badan Pengawas Tenaga Nuklir dan program studi Ilmu Komputer FMIPA Universitas Gadjah Mada, yang diadakan pada tanggal 1 Agustus 2017 bertempat di Auditorium FMIPA Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Seminar dihadiri oleh pemangku kepentingan dari seluruh daerah di Indonesia baik dari berbagai universitas maupun instansi pemerintah terkait. Pada seminar ini hadir juga pembicara utama yaitu Susanna Loof sebagai salah satu pakar komunikasi publik dari IAEA.

Makalah yang disajikan dalam prosiding sebanyak 68 dari 99 makalah yang masuk. Makalah dibagi menjadi 3 kelompok yaitu Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif dengan 12 makalah oral dan 15 makalah poster, Instalasi dan Bahan Nuklir dengan 9 makalah oral dan 21 makalah poster, dan Umum dengan 7 makalah oral dan 4 makalah poster.

Kami menyadari bahwa prosiding ini tentu saja tidak luput dari kekurangan, untuk itu segala saran dan kritik kami harapkan demi perbaikan prosiding pada terbitan tahun-tahun yang akan datang. Akhirnya kami berharap prosiding ini semoga dapat menjadi sumber informasi bermanfaat bagi yang memerlukan.

Jakarta, 24 November 2017

SAMBUTAN



**Prof. Dr. Ir. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, IPU
Kepala BAPETEN**

Selamat pagi, Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah menganugerahi kita semua dengan kesehatan dan kesempatan sehingga pada pagi yang berbahagia ini kita dapat menghadiri Seminar Keselamatan Nuklir 2017 BAPETEN, yaitu seminar yang diselenggarakan untuk mengakomodasi segenap perkembangan ilmiah guna meningkatkan kualitas pengawasan ketenaganukliran di Indonesia.

Tenaga nuklir dapat memberikan manfaat kepada masyarakat, tetapi pada sisi yang lain mempunyai risiko bila tidak dilakukan pengawasan dengan baik, untuk mengurangi terjadinya potensi risiko tersebut maka diperlukan pengawasan yang ketat dengan berdasar pada aspek *safety*, *security*, dan *safeguards* (3S). Pemanfaatan tenaga nuklir harus memenuhi tingkat keselamatan dan keamanan serta seifgard sesuai dengan ketentuan dan persyaratan yang berlaku.

Sesuai dengan Seminar kali ini yang bertema **“Pengembangan Pengawasan Ketenaganukliran Berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi Publik”**. Perkembangan teknologi informasi dan semakin perlu dibukanya porsi keterlibatan masyarakat dalam pengambilan keputusan sangat diperlukan untuk mencapai pengawasan ketenaganukliran yang efektif. Kedua hal ini akan menjadi pokok bahasan oleh para pembicara kunci kita.

Berdasarkan UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, salah satu tujuan pengawasan adalah untuk menjamin keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Undang-undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mensyaratkan keterlibatan masyarakat dalam izin lingkungan untuk suatu kegiatan dengan risiko tinggi. Selain itu efektivitas pengawasan meningkat seiring besarnya partisipasi publik di dalamnya. Untuk mewujudkan hal tersebut, perlu adanya komunikasi antara BAPETEN, stakeholder dan masyarakat. Melalui komunikasi diharapkan akan terbangun kesepahaman dalam mencapai tujuan pengawasan. Komunikasi Publik ini dimaksudkan agar masyarakat luas mengerti dan memahami dengan baik akan tugas dan fungsi lembaga dalam mengemban tugas, sesuai UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, sekaligus dinamisasi regulasi seiring perkembangan kemajuan zaman dan semakin pesatnya pertumbuhan pemanfaatan tenaga nuklir di tanah air.

Melihat perkembangan pemanfaatan tenaga nuklir yang semakin pesat saat ini, BAPETEN tidak lagi hanya menitikberatkan pada 3 pilar pengawasan yaitu peraturan, perizinan dan inspeksi, tetapi juga melibatkan teknologi informasi dan komunikasi publik. Masalah keamanan nuklir juga mengemuka sebagai akibat dampak perkembangan digital salah satunya berupa *cyber attacks* maupun pemanfaatannya dengan teknologi lainnya seperti senjata pemusnah. Seiring dengan itu, pemanfaatan teknologi informasi pada pengawasan ketenaganukliran juga berkembang dengan pesat dan telah diaplikasikan di BAPETEN. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada pembicaraan saya nanti.

Untuk meningkatkan penguatan pengawasan ketenaganukliran untuk kesejahteraan dan kemandirian bangsa, BAPETEN akan terus menggalang kerjasama dengan berbagai pihak yang menjadi stakeholder BAPETEN, seperti BATAN, KEMENKES, organisasi profesi, organisasi masyarakat, perguruan tinggi, dan sebagainya.

Demikian hal ini kami sampaikan, Selanjutnya dengan mengucapkan Bismillahirrahmaanirrahiim, Seminar Keselamatan Nuklir BAPETEN 2017 ini resmi dibuka.

Terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

SUSUNAN PANITIA
SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017

1. PENGARAH	:	Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU Dr. Khoirul Huda, M.Eng Drs. Hendriyanto Hadi Tjahyono, M.Si Prof. Dr. Triyono, S.U.	BAPETEN BAPETEN BAPETEN UGM
2. PENANGGUNGJAWAB	:	Dr. Eng. Yus Rusdian Akhmad Drs. Edi Winarko, M.Sc., P.hD	BAPETEN UGM
3. PENYELENGGARA			
Ketua	:	Dr. Syahrir, M.Sc	BAPETEN
Wakil Ketua	:	1. Dra. Leily Savitri 2. Nurul Hidayat, M.Kom.	BAPETEN UGM
Sekretariat	:	1. Iswandarini 2. Intanung Syafitri, S.Si 3. Diella Ayudhya Susanti, MIL 4. Nurhandiansyah, ST 5. Hani Febri Mustika, S.Kom.	BAPETEN BAPETEN BAPETEN BAPETEN UGM
Sie Persidangan			
Koordinator	:	Rini Suryanti, M.Si	BAPETEN
Anggota	:	1. Zalfy Hendry Eka Putra, MT 2. Endang Kunarsih, M.Si 3. Indah Annisa, M.Si 4. Lia Farhatuaini, S.Kom 5. Putu Sugiartawan, M.Cs. 6. Muh Amin Nurrohmat, S.Kom.	BAPETEN BAPETEN BAPETEN UGM UGM UGM
Sie Perlengkapan			
Koordinator	:	Sugeng Raharjo	UGM
Anggota	:	1. Ardi Susanto, S.Kom 2. Noviazida, SE 3. Samsuri 4. Ardhiantoro S. Pumomo, SST 5. Kuspriyanto, SE	UGM BAPETEN BAPETEN BAPETEN BAPETEN
Sie Dokumentasi Ilmiah dan Prosiding			
Koordinator	:	Dias Aziz Pramudita, S.Pd.	UGM
Anggota	:	1. Rusmanto, M.Si 2. Wawan Susanto, SST	BAPETEN BAPETEN

3.	Eny Erawati, ST	BAPETEN
4.	Moekhamad Alfiyan, ST	BAPETEN
5.	Sudarto, M.Eng	BAPETEN
6.	Werdi Putra Daeng Beta, MKKK	BAPETEN
7.	Fuad Fauzi, S.Kom.	UGM
8.	Prih Haryanta, S.E., M.T.	UGM

4. PENILAI MAKALAH

Koordinator merangkap : Ishak, M.Si BAPETEN

Anggota Penilai

Anggota Penilai

1.	Dr. Ing. Sihana	UGM
2.	Dr. rer.nat. M Farchani Rosyid	UGM
3.	Dr. Agfianto Eko Putra, M.Si	UGM
4.	Supriyanto A. Pawiro	UI
5.	Dra. Elisabeth Supriyatni MAppSc	BATAN
6.	Dra. Azhar, M.Sc	BAPETEN
7.	Ir. Budi Rochman M.Sc.	BAPETEN
8.	Dr. Azizul Khakim	BAPETEN
9.	Drs. Reno Alamsyah, M.Sc	BAPETEN

JADWAL ACARA
SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2017

WAKTU	ACARA	KETERANGAN	
08.00 – 08.30	Registrasi	Panitia	
08.30 – 09.00	Menyanyikan lagu Indonesia Raya, Doa dan Safety Induction Aula UGM	UGM	
	Tarian Pembuka	UGM	
09.00 – 09.40	Sambutan dan Pembukaan 1. Laporan Ketua Panitia 2. Sambutan Rektor UGM 3. Sambutan Kepala BAPETEN 4. Pembukaan Staf Ahli Menristekdikti Bidang Infrastruktur (dengan memukul gong) didampingi Kepala BAPETEN, Rektor UGM dan Ketua Panitia 5. Foto Sesi	1. Dr. Syahrir, M.Sc 2. Prof Ir Panut Mulyono, M.Eng, D.Eng 3. Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, IPU 4. Ir. Hari Purwanto, M.Sc. DIC	
09.40 – 10.00	Pembicara Kunci	Ir. Hari Purwanto, M.Sc. DIC Staf Ahli Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Bidang Infrastruktur	
10.00 – 10.15	REHAT KOPI Presentasi POSTER sesi 1 (tayangkan slide abstrak)		
10.15 – 10.45	Pembicara 1: Public Communication	Ms. Susanna Loof, IAEA Moderator Pembicara 1: Dra. Taruniyati Handayani, M.Sc Sekre Sidang: Abdul Qohhar T.E.P, MT	
10.45 – 11.00	DISKUSI SESI 1		
11.00 – 11.30	Pembicara 2 :	Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, IPU Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir	
11.30 – 12.00	Pembicara 3 :	Prof. Dr. Kusminarto Universitas Gadjah Mada Moderator Sesi 2: Drs. Edi Winarko, M.Sc., P.hD Sekre Sidang: Endang Kunarsih, M.Si	
12.00 – 12.15	DISKUSI SESI 2		
12.15 – 13.30	ISHOMA Presentasi POSTER sesi 1 (tayangkan slide abstrak)		
13.30 – 15.45	Presentasi ORAL Kelas FRZR 1 Moderator: Zainal Arifin, MT Sekre sidang: Rini Suryanti dan Samsuri	Presentasi ORAL Kelas IBN/IT/KP Moderator: Dr. Djoko Hari Nugroho Sekre sidang: Zalfy dan Sudarto	Presentasi ORAL Kelas Umum Moderator: Dra. Dahlia C Sinaga, MT Sekre sidang: Eni Erawati dan Beta
	OA1 - Azhar	OB1 - Eri Hiswara	OC1 - Yus Rusdian
	OA2 - Rini Suryanti	OB2 - Nanang Triagung EH	OC2 - Reno Alamsyah
	OA3 - Endang Kunarsih	OB3 - Farid Noor J	Diskusi
	Diskusi	Diskusi	OC3 - Susilo W
	OA4 - Sunarya	OB4 - Arief Isnaeni	OC4 - Nazaroh
	OA5 - Lailatul M	OB5 - Azizul Hakim	OC5 - Arifin M

	OA6 – Yudi Meidiansyah	OB6 – Dewi Prima M	Diskusi
	Diskusi	Diskusi	OC6 - M. Mamat
	OA7 – Haendra Subekti	OB7 – Rahmat Edi H	OC7 – Dewi Apriliani
	OA8 – Wawan Susanto	OB8 – Rahmat Nurcahyo	Diskusi
	OA9 – Chrisantus Aristo	OB9 – Rahmat Edi H	
	Diskusi	Diskusi	
15.45 – 16.15	REHAT KOPI Presentasi POSTER sesi 2 (tayangkan slide abstrak)		
16.15 – 17.00	OA10 - Mukhlisin		
	OA11 – Assef F		
	OA12 - Nurhuda		
	Diskusi		
17.00 – 17.30	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penghargaan kepada 5 (lima) makalah terbaik, 3 (tiga) penyaji oral terbaik dan 3 (tiga) penyaji poster terbaik 2. Perumusan 3. Penutupan <p style="text-align: center;">Pembagian Sertifikat</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ketua Panitia 2. Ketua Panitia 3. Dr. Eng. Yus Rusdian Akhmad (Deputi Pengkajian Keselamatan Nuklir BAPETEN) 	

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
SAMBUTAN	iii
SUSUNAN PANITIA SKN 2017	v
JADWAL ACARA	vii
DAFTAR ISI	ix
MAKALAH PENYAJI ORAL FRZR	
BEBERAPA IMPLIKASI NILAI BATAS DOSIS BARU LENSA MATA <i>Azhar</i>	1
TANTANGAN DALAM PEMBERLAKUAN PEMANTUAN DOSIS LENSA MATA UNTUK PEKERJA RADIASI DAN STRATEGI PENYELESAIANNYA <i>Rini Suryanti, Iswandarini</i>	6
PENETAPAN PEMBATAS DOSIS DAN PERANANNYA DALAM UPAYA OPTIMISASI PROTEKSI RADIASI BAGI PEKERJA RADIASI DI FASILITAS KEDOKTERAN NUKLIR <i>Endang Kunarsih</i>	12
OPTIMISASI PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI PADA RADIOLOGI ANAK <i>Leily Savitri, Sunarya</i>	17
PROFIL DOSIS RADIASI PADA PROSEDUR KARDIOLOGI INTERVENSIONAL ANAK DALAM MEMPERKIRAKAN RESIKO TERJADINYA EFEK STOKASTIK : STUDI AWAL <i>Lailatul Muqmiroh, Soegardo IP, Raisalatul Latifah, Rusmanto, Anggraini DS, I Ketut Alit U</i>	23
PENGEMBANGAN APLIKASI REKAM DOSIS UNTUK PEMERIKSAAN PAYUDARA DENGAN PESAWAT SINAR-X MAMOGRAFI BERBASIS WEB SERVICE <i>Yudi Meidiansyah, Zaenal Arifin, Muhammad Izzuddin Shofar</i>	28
PERANAN ESTIMASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DALAM MENJAMIN MUTU HASIL UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X RADIOGRAFI MOBILE <i>Endang Kunarsih, Haendra Subekti</i>	35
PENENTUAN SETTING PENYINARAN PESAWAT SINAR-X UNTUK MENDAPATKAN KUALITAS CITRA TINGGI DENGAN DOSIS RENDAH PADA RADIOGRAFI DADA MENGGUNAKAN NILAI RASIO CNR <i>Wawan Susanto</i>	42
TINJAUAN PERSYARAN PERSONIL IRADIATOR DENGAN ZAT RADIOAKTIF KATEGORI I DAN IRADIATOR DENGAN PEMBANGKIT RADIASI PENGION KATEGORI I SEBAGAI BAHAN PERTIMBANGAN PENYUSUNAN RANCANGAN PERATURAN KEPALA BAPETEN TENTANG KESELAMATAN RADIASI DALAM PENGGUNAAN IRADIATOR <i>Chrisantus Aristo Wirawan Dwipayana</i>	48
VERIFIKASI PAPAN RADIASI TERHADAP DESAIN PERISAI RADIASI TOMOTERAPI HELIKAL HI-ART <i>Mukhlisin, Asep Saefulloh Hermawan</i>	55
PENENTUAN DOSIS SERAP AIR BERKAS RADIASI Co-60 PESAWAT PISAU GAMMA LEKSELL PERFEXION NO. SERI 6428 <i>Assef Firnando Firmansyah, Sri Inang Sunaryati, Nurman Rajagukguk, Gatot Wurdianto</i>	63
PERFORMA PRODUKSI RADIOFARMAKA POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY (PET) SCAN UNTUK PENEGAKAN DIAGNOSA DI RUMAH SAKIT KANKER DHARMAIS <i>Nurhuda, Listiwadi, Astarina, Ismuha, Kardinah</i>	67

MAKALAH PENYAJI ORAL IBN/IT/KP

PLTN DAN PENDAPAT PUBLIK <i>Eri Hiswara</i>	71
STRATEGI PENGUATAN LANDASAN HUKUM PERSYARATAN KEAMANAN DUNIA MAYA (CYBER SECURITY) DALAM PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR UNTUK Mendukung KEAMANAN NUKLIR NASIONAL <i>Nanang Triagung Edi Hermawan</i>	78
INTEGRASI KESELAMATAN DAN KEAMANAN PADA SIKLUS HIDUP SISTEM YANG PENTING UNTUK KESELAMATAN BERBASIS KOMPUTER <i>Farid Noor Jusuf, Catur Febriyanto Sutopo</i>	83
PERHITUNGAN REAKTIVITAS LEBIH REAKTOR KARTINI MENGGUNAKAN PROGRAM KOMPUTER SCALE <i>Arif Isnaeni</i>	89
KARAKTERISTIK NEUTRONIK SISTEM SAMOP (SUBCRITICAL ASSEMBLY FOR MO-99 PRODUCTION) <i>Azizul Khakim, Syarip dan Suharyana</i>	96
TINJAUAN STANDAR KOMPETENSI KERJA NASIONAL INDONESIA UNTUK PETUGAS INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR <i>Dewi Prima Meiliasari, Bambang Eko Aryadi, Yudi Pramono</i>	103
STUDI KARAKTERISTIK TAPAK ASPEK METEOROLOGI DI KAWASAN SERPONG <i>Rahmat Edhi Harianto, Supyana, Tino Sawaldi AN</i>	108
ANALISIS KEANDALAN KOMPONEN SISTEM PROSES PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR RISET G.A. SIWABESSY <i>Rahmat Nurcahyo, Winda Sarmita, M. Dachyar, Edison</i>	113
ANALISIS NUMERIK SIMULASI KEBAKARAN PADA FASILITAS HDR T-51 MENGGUNAKAN GAS PROPAN DENGAN PROGRAM KOMPUTER SYLVIA <i>Rahmat Edhi Harianto</i>	120

PENYAJI ORAL UMUM

RANCANGAN PENERAPAN PRINSIP JUSTIFIKASI PROTEKSI RADIASI BERBASIS REKOMENDASI IAEA UNTUK PENGAWASAN PEMANFAATAN NUKLIR DI INDONESIA <i>Yus Rusdian Akhmad</i>	126
PENINGKATAN INFRASTRUKTUR KESELAMATAN NUKLIR DI INDONESIA MELALUI KESERTAAN SEBAGAI NEGARA PIHAK KONVENSİ KESELAMATAN NUKLIR <i>Reno Alamsyah, Bintoro Aji, Djoko Hari Nugroho</i>	134
PENERAPAN KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DALAM REGULASI KETENAGANUKLIRAN <i>Susilo Widodo</i>	145
PENGARUH SINAR-X/FOTON PADA RENTANG ENERGI (12,7- 661,6) keV TERHADAP RESPON TLD BARC (CaSO ₄ :Dy) DAN ALGORITMA UNTUK EVALUASI RESPON TLD <i>Nazaroh, Rofiq Syaifudin, C. Tuti Budiantari</i>	153
PENGAWASAN DOSIS PEKERJA RADIASI MENGGUNAKAN BALIS PENDORA (PENCATATAN DOSIS PEKERJA RADIASI) SEBAGAI NATIONAL RADIATION WORKER DOSE REGISTRY (NRWDR) <i>Arifin Muhammad Wibowo, Fajariadi</i>	162
KAJIAN REVISI PERATURAN KEPALA BAPETEN TENTANG KESIAPSIAGAAN DAN PENANGGULANGAN KEDARURATAN NUKLIR <i>Mohamad Mamat, Bambang Eko Aryadi</i>	166
TELAAH PERATURAN KEPALA BAPETEN NO.1 TAHUN 2010 TERHADAP PERSYARATAN IAEA SAFETY STANDARD SERIES NO. GSR PART 7 <i>Dewi Apriliani</i>	173

MAKALAH PENYAJI POSTER FRZR

KAJIAN PENERIMAAN DOSIS RADIASI TAHUN 2014 - 2016 PEKERJA RADIASI BIDANG TEKNOLOGI RADIOFARMAKA PTRR BATAN <i>Rr. Djarwanti RPS, Fath Priyadi, Didik Setiaji, Yono Sugiharto</i>	182
KAJIAN PENGAWASAN RADIOAKTIVITAS ALAM LUMPUR SIDOARJO <i>Moekhammad Alfiyan</i>	186
PERBEDAAN INDIKATOR NILAI DOSIS RADIASI (CTDI _w) DAN IMAGE NOISE PADA TEKNIK SEKUENS DAN SPIRAL PADA COMPUTED TOMOGRAPHY FACE BONE (STUDI PADA MODALITAS CT SCAN MERK SIEMENS 6 SLICE) <i>Yeti Kartikasari, Sri Mulyati, Bachtiar Arif Nugroho</i>	190
KAJIAN PROGRAM JAMINAN MUTU RADIODITERAPI TEKNIK LANJUT AKSELERATOR LINEAR BERBASIS AAPM TASK GROUP NO. 142 <i>Ahmad Maulana, Mukhlisin</i>	195
ANALISA PENERIMAAN DOSIS SERAP ORGAN REPRODUKSI PADA PEMERIKSAAN RADIOGRAFI ABDOMEN ANTARA PENGGUNAAN TEKNIK kV RENDAH DAN TEKNIK kV TINGGI <i>Rini Indrati, Rika Sumala, Sudiyono, Siti Daryati</i>	203
DOSIS RADIASI PADA PEMERIKSAAN CT SCAN KEPALA DENGAN SCANOGRAM SEJAJAR INFRA ORBITAL MEATAL LINE (IOML) DAN MODIFIKASI SUPRA ORBITAL MEATAL LINE (SOML) <i>Darmini, J. Dahjono, Bagus Dwi Handoko, Dwi Rochmayanti</i>	208
PENINGKATAN KUALITAS PERATURAN KEPALA BAPETEN MELALUI IMPLEMENTASI ISO 9001:2015 <i>Satria Prahara</i>	212
PERUBAHAN-PERUBAHAN PADA REVISI PERATURAN KEPALA BAPETEN NO. 9 TAHUN 2011 TENTANG UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL <i>Sawiyah, Soegeng Rahadhy</i>	216
TANTANGAN PENERAPAN OPTIMISASI PADA PEMANFAATAN PESAWAT SINAR-X CT SCAN BERDASARKAN HASIL INSPEKSI <i>Ida Bagus Manuaba, Bambang Riyono</i>	220
TINJAUAN PENGELOLAAN DISUSED SEALED RADIOACTIVE SOURCES (DSRS) DARI PERSPEKTIF PENGATURAN <i>Soegeng Rahadhy</i>	227
DAFTAR PEMERIKSAAN UJI KOMISIONING IRADIATOR DENGAN ZAT RADIOAKTIF KATEGORI IV <i>Chrisantus Aristo Wirawan Dwipayana</i>	231
PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PADA PESAWAT TELETERAPI DI INDONESIA DAN ASPEK KESELAMATANNYA <i>Assef Firmando Firmansyah, Sri Inang Sunaryati, Nurman Rajagukguk, Gatot Wurdianto</i>	238
PENILAIAN DOSIS ORANG REPRESENTATIF DARI DISPERSI ATMOSFERIK LEPASAN RADIOAKTIVITAS DI KAWASAN NUKLIR SERPONG MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK CROM <i>Diella Ayudhya Susanti, Moekhammad Alfiyan</i>	243
PROSES DAUR ULANG ZAT TERBUNGKUS CESIUM-137 YANG SUDAH TIDAK DIGUNAKAN BERDASARKAN PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 61 TAHUN 2013 <i>Suhaedi Muhammad, R.r. Djarwanti, RPS</i>	248
MAKALAH PENYAJI POSTER IBN/IT/KP	
KAJIAN PERATURAN DAN STANDAR SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI PADA PLTN <i>Liliana Yetta Pandi, Mohammad Tharil Azis, Sri Budi Utami</i>	252
PERANAN CLEARINGHOUSE DALAM PENGAWASAN KETENAGANUKLIRAN <i>Catur Febriyanto</i>	259

LEPASAN RADIASI DARI PENGOPERASIAN REAKTOR SERBA GUNA GA SIWABESSY KE LINGKUNGAN <i>Liliana Yetta Pandi, Veronica Tuka</i>	264
KOMPETENSI DASAR UNTUK PETUGAS PERAWATAN INSTALASI NUKLIR NON REAKTOR (INNR) <i>Inron, Ardiyani Eka Patriasari, Supyana</i>	268
PENGEMBANGAN PERATURAN MENGENAI KESELAMATAN OPERASI REAKTOR NONDAYA <i>Angga Kautsar, Dwihardjo Rushartono, Yudi Pramono</i>	273
TINJAUAN PENERAPAN ASPEK KESELAMATAN PADA INSTALASI ELEMEN BAHAN BAKAR EKSPERIMENTAL BERDASAR IAEA-TECDOC 1221 <i>Nudia Barenzani, Sjafruddin</i>	277
MANAJEMEN DESAIN DALAM PEMBANGUNAN INSTALASI NUKLIR <i>Arifin Muhammad Susanto</i>	283
MANAJEMEN RISIKO DALAM KONSTRUKSI INSTALASI NUKLIR/PLTN DAN PERATURAN YANG BERLAKU DI INDONESIA <i>Arifin Muhammad Susanto</i>	291
KEBIJAKAN DAN STRATEGI NASIONAL KESELAMATAN NUKLIR DAN RADIASI <i>Donni Taufiq</i>	298
ANALISIS SPEKTRUM NEUTRON ELEMEN BAKAR TRIGA 2000 BANDUNG AKIBAT PERUBAHAN TEMPERATUR <i>Hidayati Amar, MT.</i>	303
KONSEP PENGEMBANGAN PENGATURAN PROTEKSI FISIK INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR SERTA PENGANGKUTAN BAHAN NUKLIR <i>Suci Prihastuti, Zulfiandri</i>	309
KESELAMATAN PENANGANAN DAN PENYIMPANAN BAHAN BAKAR BEKAS REAKTOR BERPENDINGIN GAS / HIGH TEMPERATURE GAS REACTOR (HTGR) DITINJAU DARI ASPEK TEKNIS, LEGAL, DAN KEBIJAKAN STRATEGI NASIONAL <i>Pandu Dewanto dan Agus Yudhi Pristianto</i>	315
KAJIAN NEUTRONIK PERANGKAT SUBKRITIK UNTUK PRODUKSI MO-99 (SAMOP) <i>Diah Hidayanti Sukarno</i>	321
PENERAPAN NILAI BATAS LEPASAN RADIOAKTIVITAS ATMOSFERIK DI KAWASAN NUKLIR SERPONG <i>Arif Yuniarto, Syahrir, Untara, Chevy Cahyana</i>	327
EVALUASI KESELAMATAN REAKTOR DITINJAU DARI NILAI SHUTDOWN MARGIN PADA SISTEM SUBCRITICAL ASSEMBLY FOR 99Mo PRODUCTION (SAMOP) <i>Yunita Anggraini, Riyatun, Suharyana, Azizul Khakim</i>	334
KAJIAN KESELAMATAN ASPEK LEPASAN BAHAN BERBAHAYA ETILEN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ALOHA <i>Nur Siwhan</i>	339
EVALUASI KESELAMATAN HTR-10 KETIKA TERJADI KECELAKAAN KOMPAKSI BAHAN BAKAR DENGAN KODE MVP <i>Uswatun Chasanah, Riyatun, Suharyana, Azizul Khakim</i>	343
ANALISIS KONSENTRASI UDARA AKIBAT KECELAKAAN REAKTOR KARTINI DITINJAU DARI VARIASI BAHAN BAKAR YANG MELELEH DENGAN SOFTWARE PC-COSYMA <i>Hanifah Nur Syafitri, Suharyana, Diah Hidayanti</i>	348
PERHITUNGAN DETERMINISTIK DAMPAK RADIOLOGI KECELAKAAN REAKTOR KARTINI TERHADAP KONSENTRASI RADIONUKLIDA DI TANAH MENGGUNAKAN SOFTWARE PC-COSYMA <i>Desintha Fachrunnisa, Diah Hidayanti, Suharyana</i>	353
DESKRIPSI KONDISI AT ONE STUCK ROD HTR-10 DITINJAU DARI NILAI SHUTDOWN MARGIN <i>Rizki Budi Rahayu, Riyatun, Suharyana, Azizul Khakim</i>	358
PERHITUNGAN DAMPAK RADIOLOGI AKIBAT PENGOPERASIAN HTGR DENGAN PROGRAM KOMPUTER CROM <i>Agus Wahyu</i>	363

MAKALAH PENYAJI POSTER UMUM

KAJIAN PENATALAKSANAAN KESEHATAN PEKERJA RADIASI YANG MENERIMA DOSIS RADIASI BERLEBIH <i>Suhaedi Muhammad, R.r. Djarwanti, RPS, Susyati</i>	368
KOPERASI SEBAGAI PELAKSANA DI DALAM UNDANG-UNDANG NOMOR 10 TAHUN 1997 <i>Dewi Prima Meiliasari, Dwihardjo Rushartono, Yudi Pramono</i>	372
PENGEMBANGAN PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR MENGENAI LABORATORIUM ANALISIS RADIOAKTIVITAS LINGKUNGAN <i>Hermawan Puji Yuwana</i>	377
TINJAUAN INTEGRATED NUCLEAR SECURITY SUPPORT PLAN (INSSP) DALAM IMPLEMENTASI KEAMANAN NUKLIR DI INDONESIA <i>Indah Annisa</i>	383

LAMPIRAN

Lampiran A. MAKALAH PEMBICARA KUNCI
Lampiran B. TANYA JAWAB PRESENTASI ORAL DAN POSTER
Lampiran C. TANYA JAWAB SIDANG PLENO PEMBICARA KUNCI
Lampiran D. PENGHARGAAN



PENENTUAN DOSIS SERAP AIR BERKAS RADIASI Co-60 PESAWAT PISAU GAMMA LEKSELL PERFEXION NO. SERI 6428

Assef Firnando Firmansyah¹, Sri Inang Sunaryati¹, Nurman Rajagukguk¹, Gatot Wurdianto¹

¹ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN

Email: firnando3154@gmail.com

ABSTRAK

Makalah ini menguraikan pengukuran luaran berkas radiasi Co-60 untuk kolimator 16 mm dari Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6428. Pengukuran dilakukan di dalam fantom *ELEKTA solid water spherical phantom* berdiameter 160 mm menggunakan detektor ionisasi Pinpoint 3D volume 0,016 cc tipe PTW 31016 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Weblin tipe T 10022. Detektor diletakkan di pusat fantom dan disinari selama 1 menit. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 buah. Hasil yang diperoleh menunjukkan laju dosis serap air adalah 3,67 Gy/menit.

Kata kunci : Pisau Gamma Leksell Perfexion, dosis serap air, *ELEKTA solid water spherical phantom*

ABSTRACT

This paper describe the measurement of the output for a 16 mm collimator of the Leksell Gamma Knife Perfexion serial number 6428. Measurement has been carried out by using a 0.016 cc ionization chamber type of PTW 31016 connected with a PTW Unidos Weblin electrometer type of T 10022. The chamber was inserted into an ELEKTA solid water spherical phantom with 160 mm in diameter and irradiated for 1 minute. Five data were acquired for each measurement The results obtained showed that the absorbed dose to water of the Leksell Gamma Knife Perfexion was 3.67 Gy/minute

Keywords : *Leksell Gamma Knife Perfexion, absorbed dose to water, ELEKTA solid water spherical phantom*

I. PENDAHULUAN

Pada tahun 2017 Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo mengoperasikan sebuah pesawat pisau gamma Leksell model Perfexion no. seri 6428 dan ini merupakan pesawat pisau gamma yang kedua di Indonesia setelah Rumah Sakit Siloam Karawaci (*Gamma Knife Center of Indonesia*)^{1,2}.

Pesawat pisau gamma Leksell model Perfexion no seri 6428 ini menggunakan sumber radiasi Co-60 sebanyak 192 dengan aktivitas rata-rata masing - masing sumber radiasi 1,1 TBq (30 Ci), dengan demikian aktivitas total 214,40 TBq (5799 Ci) pada tanggal 1 April 2017³. Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6428

Setelah selesai dipasang pada tanggal 14 Mei 2017, maka dilakukan pengukuran oleh pihak fabrikasi dalam rangka commissioning dari pesawat pisau gamma tersebut. Salah satu besaran yang diukur adalah laju dosis serap air pada posisi penyinaran menggunakan kolimator 16 mm yang mendapatkan nilai laju dosis serap air 3,67 Gy/ menit 4.

Sesuai dengan ketentuan yang dikeluarkan oleh BAPETEN, pesawat pisau gamma tersebut harus dikalibrasi oleh Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder PTKMR-BATAN dalam rangka izin penggunaan zat radioaktif 5.

Makalah ini menguraikan pengukuran untuk menentukan laju dosis serap air dari Pesawat Pisau Gamma Perfexion no. seri 6428 yang dilakukan di Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta.

II. METODA

2.1. Penentuan Dosis Transit Untuk Kolimator 16 mm

Sumber sumber radiasi Co-60 di dalam pesawat pisau gamma bergerak ke posisi penyinaran pada awal dan di antara penyinaran. Jadi untuk mencapai posisi kolimator 16 mm, sumber radiasi tersebut harus melewati kolimator 4 mm, dengan

demikian memberikan apa yang disebut "Dosis Transit"

Satu cara untuk mengukur "Dosis Transit" kolimator 16 mm adalah dengan memberikan dosis yang dibutuhkan dengan dua perlakuan di isosenter fantom. Pertama detektor disinari menggunakan waktu penyinaran tunggal. Selanjutnya detektor disinari dengan dosis yang sama untuk empat kali penyinaran. Dosis Transit dapat ditentukan menggunakan Persamaan 1 di bawah ini ⁶:

$$\text{Dosis Transit} = \frac{D_4 - D_1}{3} \text{ Gy/16 mm} \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

$D_4 - D_1$: selisih dosis terukur di antara 2 penyinaran
3 : perbedaan jumlah penyinaran

Pada prinsipnya Persamaan 1 yang digunakan untuk menentukan dosis transit ini tidak berbeda dengan kesalahan penunjukan waktu (timer) untuk mendapatkan koreksi dari luaran yang disebabkan adanya pergerakan sumber radiasi Co-60 dari dan kembali tempat penyimpanan sumber pada pesawat teleterapi Co-60 ⁷.

2.2. Penentuan Laju Dosis Serap Air Pesawat Pisau Gamma Leksell

Belum ada protokol khusus untuk menentukan laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 dari Pesawat Pisau Gamma Leksell. Secara tradisional biasanya pabrik melakukan pengukuran ionisasi di isosenter dengan menempatkan detektor ionisasi di dalam fantom plastik atau air padat. Selanjutnya laju dosis serap air ditentukan menggunakan publikasi IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398 dengan persamaan di bawah ini ⁷:

$$D_{W,Q} = M_Q \cdot N_{D,W} \cdot k_{Pol} \cdot k_s \dots\dots\dots (2)$$

dengan

$D_{W,Q}$: laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 (mGy/menit)

M_Q : bacaan dosimeter terkoreksi terhadap temperature dan tekanan (nC/menit)

$N_{D,W}$: faktor kalibrasi dosis serap air (mGy/nC)

k_s : faktor koreksi polaritas

k_s : faktor koreksi rekombinasi ion

Meskipun pesawat pisau gamma Leksell Perfexion ini memiliki 3 buah kolimator, namun yang diukur dosis serap airnya hanya untuk kolimator berdiameter 16 mm, sedangkan untuk kolimator 8 mm dan 4 mm ditentukan menggunakan Faktor Luaran OF (*Output Factor*) yang diberikan oleh pabrik. Hal ini telah dibuktikan dari perhitungan program FLUKA Monte Carlo yaitu OF 0,921 dan 0,792 untuk 8mm dan 4mm terhadap perhitungan LGP (Leksell Gamma Plan) dengan hasil OF 0,924 dan 0,805 yang menyatakan perbedaannya sangat kecil (<2%) ⁸.

III. PERALATAN DAN TATA KERJA

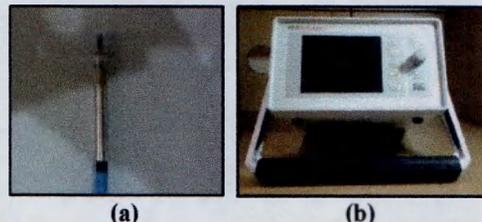
3.1. Peralatan

3.1.1. Sumber Radiasi

Sebagai sumber radiasi digunakan Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6428 milik Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo. Pesawat ini memiliki 192 buah sumber Co-60 yang dibagi dalam 8 sektor dengan 24 buah sumber radiasi setiap sektornya. Aktivitas total sumber radiasi Co-60 dari pesawat ini adalah 213,40 TBq (5799,0 Ci) pada tanggal 1 April 2017. Untuk keperluan penyinaran pasien, pesawat ini dapat digunakan untuk lapangan radiasi yang dibentuk oleh 3 buah kolimator berdiameter 4, 8 dan 16 mm.

3.1.2. Alat Ukur Radiasi

Sebagai alat ukur radiasi digunakan detektor ionisasi PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Weblin tipe T10022 no. seri 268. Sistem dosimeter ini tertelusur ke Laboratorium Standar Primer BIPM. Detektor dan elektrometer yang digunakan untuk pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Detektor ionisasi PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507 (a) dan elektrometer PTW Unidos Weblin Tipe T10022 no. seri 268 (b)

3.1.3. Fantom

Sebagai media pengukuran untuk menentukan laju dosis serap air dari Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6488 ini digunakan fantom *ELEKTA solid water spherical phantom*. Fantom ini terbuat dari bahan dengan karakteristik hamburan dan penyerapan terhadap radiasi yang sama dengan air. Fantom ini merupakan model baru sebagai pengembangan dari fantom *ELEKTA ABS spherical phantom* yang terbuat polisterene.



Gambar 3. Fantom *ELEKTA solid water spherical phantom*

3.2. TATA KERJA

3.2.1. Pengukuran Dosis Transit

Pertama-tama fantom *ELEKTA solid water spherical phantom* dipasang pada pemegangnya (adaptor dosimetri), selanjutnya pemegang fantom tersebut dipasang pada meja pasien. Setelah itu detektor PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507 dimasukkan ke dalam fantom tersebut. Kemudian atur waktu penyinaran pada pesawat selama 1 menit. Ambil 1 buah data. Kemudian lakukan hal yang sama untuk waktu penyinaran 15 menit dengan pengambilan data sebanyak 4 buah. Temperatur dan tekanan udara selama pengukuran diamati.

3.2.2. Penentuan Faktor Koreksi Rekombinasi Ion

Setelah pengukuran untuk menentukan dosis transit selesai, maka dilakukan penentuan faktor koreksi rekombinasi ion yang terdapat pada Persamaan 2. Penentuan faktor rekombinasi ion dilakukan dengan pengukuran menggunakan dua buah tegangan pada detektor. Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan kerja detektor yang berbeda V_1 (tegangan normal) dan V_2 . Pengaturan tegangan V_1 dan V_2 sedemikian rupa sehingga V_1/V_2 sekurang-kurangnya = 3. Pengukuran untuk menentukan koreksi rekombinasi ion berkas Co-60 dilakukan di dalam fantom dengan waktu penyinaran = 1 menit. Faktor koreksi rekombinasi ion ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini ⁷.

$$K_s = \frac{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - 1}{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)} \dots\dots\dots (3)$$

dengan

- K_s : faktor koreksi rekombinasi ion
- V_1 : tegangan normal detektor
- V_2 : tegangan detektor sehingga $V_1/V_2 \geq 3$
- Q_1 : muatan yang dihasilkan menggunakan tegangan
- Q_2 : muatan yang dihasilkan menggunakan tegangan

3.2.3. Penentuan Efek Polaritas

Penentuan faktor koreksi polaritas dilakukan dengan cara memberikan detektor tegangan positif dan negatif pada kondisi pengukuran yang sama. Faktor koreksi polaritas, k_{pol} ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini ⁷:

$$k_{pol} = \frac{|I_+| + |I_-|}{2 |I|} \dots\dots\dots 4$$

dengan

- I_+ : arus yang terukur dengan tegangan detektor positif
- I_- : arus yang terukur dengan tegangan detektor negatif
- I : arus yang terukur dengan tegangan detektor normal

Setelah pengukuran faktor –faktor koreksi yang diperlukan untuk penentuan laju dosis serap air berkas radiasi Co-60 selesai, maka detektor disinari kembali untuk 1 menit penyinaran. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 kali. Selama pengukuran, temperatur dan tekanan udara diamati.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan dosis transit pada kolimator 16 mm

Hasil pengukuran Dosis Transit untuk kolimator 16 mm dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data pengukuran kesalahan penunjukan waktu pesawat

Bacaan (nC/60 detik), R1	Bacaan (nC/15 detik), R2
1,456	0,366
	0,366
	0,366
	0,366
$R_1 = 1,456$	$\Sigma R_2 = 1,464$

Dengan menggunakan Persamaan 1 dan faktor kalibrasi dosimeter akan diperoleh Dosis Transit untuk kolimator 16 mm pesawat sebesar 8,35 mGy/menit. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa luaran pesawat mendapatkan kepadat-ulangan yang baik.

4.2. Penentuan Laju Dosis Serap Air

Hasil pengukuran laju dosis serap air dari pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion dengan detektor PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507 menggunakan fantom *ELEKTA solid water spherical phantom* yang dihitung dengan Persamaan 3 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan laju dosis serap air pesawat Co-60 yang diukur dengan detektor PinPoint 3D volume 0,016 cc tipe TW 31016 no. seri 004507

Fantom	M_0 (nC/menit)	$N_{D,W}$ (mGy/nC)	K_s	K_{pol}	$D_{w,0}$ (Gy/menit)
<i>ELEKTA solid water spherical phantom</i>	1457	2514	1,00102	1,00491	3,683 ± 2%

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa laju dosis serap air yang diperoleh menggunakan *ELEKTA solid water spherical phantom* padat mendapatkan nilai 3,683 Gy/menit. Dengan laju dosis serap air 3,683 Gy/menit, maka Dosis Transit sebesar 8,35 mGy/menit dapat dikatakan kecil dan bisa diabaikan.

Jika dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan pihak fabrikasi yang mendapatkan laju dosis

serap air 3,67 Gy/menit, maka terdapat perbedaan yang kecil sebesar 0,3 %.

Jika mengacu pada pengukuran pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion no. seri 6121 milik Rumah Sakit Siloam Karawaci yang mempunyai aktivitas total 5329,8 Ci, laju dosis serapnya mendapatkan nilai 3,400 Gy/menit. Dengan membandingkan kedua pengukuran diperoleh kesesuaian yang cukup baik dengan deviasi sebesar 0,8 %.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa :

- Dosis Transit untuk kolimator mendapatkan nilai yang kecil sehingga dapat diabaikan.
- Kedapat-ulangan luaran pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion sangat baik

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada staf Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta dan PT Besindo Medi Prima atas kesempatan yang diberikan untuk penggunaan fasilitas Pesawat Pisau Gamma Leksell Perfexion.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] NAZAROH dkk, Leksell Gamma Knife (LGK) Perfexion/6121, Pertama di Indonesia dan Verifikasi Keluarannya, Prosiding PPI Standardisasi 2012, Badan Standardisasi Nasional, 2012
- [2] ASSEF FIRNANDO FIRMANSYAH dkk, Stabilitas Luaran Berkas Radiasi Co-60 Pesawat Pisau Gamma Perfexion, Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir 2016, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir Nasional Yogyakarta, 2016
- [3] Sealed source Test Certificate, nordion, <http://www.nordion.com>
- [4] Komunikasi Pribadi dengan staf Unit Bedah Saraf Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo
- [5] BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR, Peraturan Kepala BAPETEN tentang kalibrasi alat ukur radiasi dan keluaran sumber radiasi, standardisasi radionuklida dan fasilitas kalibrasi, BAPETEN, Jakarta, 2007
- [6] PAULA L. PETTI, Ph.D., Leksell Gamma Knife® Perfexion TM QA Consideration, Taylor Mc Adam Bell Neuroscience Institute, Washington Hospital Healthcare System, Fremont, Ca.
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy; An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Report Series No.398, IAEA, Vienna, 2000
- [8] G. Battistoni, N. Bertolino, M. G. Brambilla, F. Cappucci, H. S. Mainardi, A. Torresin, Fluka Monte Carlo Simulation for The Leksell Gamma Knife Perfexion: Homogeneous Media 2011.