

SENTIN



Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir ke-6

Convention Hall - Universitas Andalas,
Padang, 18 September 2019

Peran Pendidikan Tinggi dan Aplikasi Teknologi Nuklir untuk
Kemandirian Energi, Pangan, Pertanian dan Kesehatan”

PROSIDING

Diselenggarakan oleh:



Pusat Teknologi dan Keselamatan
Reaktor Nuklir



Fakultas Teknik
Fakultas Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam

ISSN: 2355-7524

**PROSIDING
SEMINAR NASIONAL
TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR 2019**

Padang, 18 September 2019



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir
2019

**DEWAN EDITOR /
PENILAI KARYA TULIS ILMIAH:**

KETUA:

Dr. Ir. P. Made Udiyani, M.Si (BATAN)

ANGGOTA:

Dr. Oknovia Susanti, ST., M.Meng. (UNAND)

Dr. Yoyok Dwi Setyo Pambudi, M.T. (BATAN)

Dr.Hendro Tjahjono (BATAN)

Ir. DT Sony Tjahyani, M.Eng (BATAN)

Ir. Sriyono (BATAN)

Drs. Tukiran (BATAN)

Dr. Elita Amrina, M.Eng. Ph.D. (UNAND)

Dr. Eng. Muhammad Ilhami Rusydi (UNAND)

Dr. Eng. Shinta Indah (UNAND)

Ilma Raimona Zadri, Ph.D (UNAND)

Dr. Awalludin Mardin, S.T., M.T. (Univ. RIAU)

Dr.Ing. Ridho Irwansyah, ST., M.T. (UI)

Tim Prosiding:

Suwoto, Yoyok DSP, Farisy Yogatama, Wahid Luthfi, Muksin Aji Setiawan, M. Yunus

KATA PENGANTAR

Menyusul keberhasilan pelaksanaan kegiatan tahunan Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir yang dimulai sejak 2014 pertama kali di adakan di Pontianak Kalimantan Barat, di bawah koordinasi Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - Deputi Teknologi Energi Nuklir - Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) bekerja sama dengan Fakultas Teknik dan Fakultas MIPA Universitas Andalas Padang menyelenggarakan kegiatan Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (SENTEN) ke-6 tahun 2019 dengan tema: **“Peran Pendidikan Tinggi dan Aplikasi Teknologi Nuklir untuk Kemandirian Energi, Pangan, Pertanian dan Kesehatan”**.

SENTEN-2019 telah dilaksanakan di **Convention Hall Universitas Andalas**, Padang, Sumatera Barat, Indonesia, pada hari Rabu, tanggal 18 September 2019. Seminar ini bertujuan untuk merangkum kegiatan penelitian terbaru yang relevan dengan nuklir yaitu tentang konversi energi dan pembangkit listrik, fisika reaktor nuklir, analisis keselamatan reaktor, instrumentasi dan kendali, kesehatan, pertanian dan pangan, kedokteran nuklir, aspek lingkungan, regulasi dan keamanan nuklir, aplikasi bidang teknik, material dan industri, IT, dan juga memfasilitasi komunikasi di antara para ahli yang relevan.

Lebih dari 150 peserta yang terdiri dari pemakalah dan peserta biasa dari berbagai Instansi dan Universitas di Indonesia antara lain BATAN dan Universitas Andalas-Padang sebagai penyelenggara, BAPETEN, Universitas Gadjah Mada, Universitas Padjadjaran, Universitas Gunadarma, Universitas Ibn. Khaldun (UIKA)-Bogor, Universitas Nasional (UNAS)-Jakarta, dan Universitas Krisnadwipayana. Dari total 58 makalah lengkap yang masuk ke panitia, kemudian dilakukan reviu oleh para editor yang ahli dibidangnya, akhirnya diputuskan 55 makalah diterima dan dapat dipresentasikan dalam seminar SENTEN ke-6 tahun 2019. Setelah melalui reviu sebanyak 44 makalah dapat dipublikasikan dan diterbitkan dalam prosiding ini. Makalah yang diterbitkan dalam prosiding ini telah melalui proses reviu dan editing dari panitia.

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada semua peserta, dan kepada semua pihak yang telah membantu keberhasilan Seminar ini.

Jakarta, November 2019

Dewan Editor

LAPORAN KETUA PELAKSANA SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR 2019 PADANG 18 SEPTEMBER 2019

Alhamdulillah *rabbi'l'alam*, Puji dan Syukur kita Panjatkan Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa. Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (SENTEN) ke-6 tahun 2019 yang diselenggarakan berkat kerjasama antara Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) BATAN dengan Fakultas Teknik dan Fakultas MIPA Universitas Andalas, dilaksanakan pada 18 September 2019 di *Convention Hall* Universitas Andalas Padang. Acara SENTEN telah dilaksanakan sebanyak 6 kali, yang sebelumnya 5 kali pelaksanaan dimulai sejak tahun 2014 dimana SENTEN ke-1 merupakan kerjasama BATAN dan Universitas Tanjungpura di Pontianak, SENTEN ke-2 tahun 2015 adalah kerjasama BATAN dan Universitas Udayana di Bali, kemudian SENTEN ke-3 tahun 2016 merupakan kerjasama BATAN dan Politeknik BATAM, SENTEN ke-4 tahun 2017 menjadi kerjasama antara BATAN dan Universitas Hasanuddin di Makassar, dan SENTEN ke-5 tahun 2018 kerjasama BATAN dan Universitas Sriwijaya di Palembang.

SENTEN ke-6 tahun 2019 mengusung tema "***Peran Perguruan Tinggi dan Aplikasi Teknologi Nuklir untuk Kemandirian Energi, Pangan, Kesehatan dan Pertanian***" yang diharapkan dapat menjadi ajang tukar menukar informasi antara peneliti, akademisi dan pemerhati terkait dengan penelitian dan pengembangan iptek energi nuklir dan aspek pendukungnya di Indonesia. Panitia SENTEN ke-6 tahun 2019 menerima **58 makalah** dari berbagai instansi dan perguruan tinggi. Setelah melalui seleksi dan evaluasi oleh Dewan Editor, panitia memutuskan **55 makalah** dapat diterima untuk dipresentasikan dalam Seminar SENTEN ini. Makalah-makalah berasal dari BATAN, BAPETEN, UGM, Universitas Andalas, Universitas Ibnu Kaldun (UIKA) Bogor, Universitas Padjajaran, Universitas Krisnadwipayana, Universitas Gunadarma, dan Universitas Nasional. Pembicara Utama pada SENTEN ke-6 berasal Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dan tuan rumah Universitas Andalas yang akan membahas topik-topik yang sedang hangat saat ini dan informasi yang bermanfaat.

Kami, segenap Panitia SENTEN ke-6 tahun 2019, mengucapkan terimakasih kepada semua peserta pemakalah, peserta pendengar, pembicara utama dan pihak universitas Andalas Padang atas bantuan dan kerjassama yang terjalin, yang menjadikan agenda SENTEN tahun 2019 berjalan dengan baik.

Padang, 18 September 2019

Ketua SENTEN-2019

Dr. Mulya Juarsa

SAMBUTAN DEPUTI BIDANG TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR BADAN TENGA NUKLIR NASIONAL

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Salam sejahtera bagi kita semua,
Hom swastiastu,
Namo budaya,
Salam kebajikan,

Yang terhormat Rektor Universitas andalas dan jajarannya
Yang terhormat para tamu undangan yang tidak bisa saya sebut satu persatu

Marilah pertama tama kita panjatkan puji sukur kehadiran Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi rahmat kepada kita untuk dapat bersilaturahmi dalam acara SENTEN 2019 di Universitas Andalas Sumatera Barat.

BATAN mengucapkan banyak terimakasih kepada Bapak Rektor dan jajarannya atas kerjasamanya sehingga SENTEN-2019 dapat dilaksanakan di Universitas Andalas, semoga kerjasama ini dapat terus berlanjut untuk kemajuan

Bapak-bapak dan ibu-ibu serta hadirin sekalian,
BATAN merupakan Lembaga litbang yang mempunyai tugas melaksanakan pengembangan di bidang ketenaganukliran untuk tujuan damai. Pengembangan yang dilakukan dibidang energi, pangan, kesehatan dan juga lingkungan. Dibidang non energi hasil litbang BATAN sudah sangat banyak dimanfaatkan oleh masyarakat diantaranya varietas padi unggul dan juga radioisotop dan radiofarmaka untuk industri dan kesehatan.

Dibidang energi pemanfaatan tenaga nuklir untuk PLTN belum diimplementasikan terkait dengan kebijakan nasional yang belum menerapkan energi nuklir dalam bauran energi nasional. Namun demikian batan tetap melakukan kajian PLTN untuk *capacity building*.

Dalam melakukan pengembangan Batan juga bekerjasama dengan berbagai pihak khususnya perguruan tinggi, melalui kerjasama dapat dilaksanakan kegiatan kegiatan ilmiah seperti SENTEN 2019 yang merupakan ajang sharing knowledge antar peneliti dan juga masyarakat untuk menambah wawasan pengetahuan terkait ketenaganukliran.

Alhamdulillah pada hari ini kita bisa mengadakan SENTEN 2019 hasil kerjasama antar BATAN dengan Universitas Andalas semoga IPTEK nuklir juga berkembang di Sumatera Barat. Dan bagi peserta seminar saya ucapkan selamat berseminar semoga mendapatkan manfaat yang besar untuk kemajuan Bersama.

Demikian dan terimakasih

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Ir. Suryantoro,MT.

DAFTAR ISI

	Halaman
Judul	i
Dewan Editor / Penilai Karya Tulis	ii
Kata Pengantar	iii
Laporan Ketua Pelaksana Seminar Nasional Energi Teknologi Nuklir -2019	iv
Sambutan Deputi Bidang Teknologi Energi Nuklir - BATAN	v
Daftar Isi	vi
MAKALAH TEKNIS	
1. KAJIAN PENGARUH KELEMBABAN PADA PENGUKURAN SENSOR DETEKTOR FLUKS NEUTRON RSG-GAS	1
<i>Kiswanta, Sudarno, Sujarwono, Ranji Gusman, Heri Suherkiman</i>	
2. UJI FUNGSI PENGISIAN NITROGEN CAIR PADA BAGIAN KRIOGENIK FASILITAS UJI SISTEM PEMURNIAN HELIUM	13
<i>Joko Prasetio W, Ainur Rosidi</i>	
3. MONITORING DAN PENGUKURAN WAKTU RESPON DETEKTOR NEUTRON PADA RSG-GAS	19
<i>Yoyok Dwi Setyo Pambudi, Muhammad Subekti, Sujarwono, Ranji Gusman</i>	
4. ANALISIS TINGKAT SIRKULASI ALAMIAH PADA LIQUID METAL FAST BREEDER REACTOR DENGAN PENDINGIN NA, NAK, PB DAN PB-BI	27
<i>Refi Juita, Dian Fitriyani</i>	
5. ANALISIS KEANDALAN PERAWATAN KOMPONEN SISTEM KESELAMATAN REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY	35
<i>Mike Susmikanti, Entin Hartini, Purwadi</i>	
6. EVALUASI PENGAMBILAN PANAS PADA TERAS RSG-GAS UNTUK MENUNJANG OPERASI 30 MW	49
<i>Muh. Darwis Isnaini, M. Subekti</i>	
7. COMPARISON BETWEEN SIMULATION AND ANALYTICAL METHOD RELIABILITY DATA ANALYSIS : A CASE STUDY ON COMPONENT OF SSC RSG-GAS	59
<i>Entin Hartini, Mike Susmikanti, Santosa Pujiarta</i>	
8. KARAKTERISTIK SIPHON REAKTOR RISET BERELEMEN BAKAR TIPE PELAT	69
<i>Reinaldy Nazar, Jupiter Sitorus Pane</i>	

9.	ANALISA DEFORMASI RPV WALL PADA KONDISI PEMANASAN PROTOTIPE SEGMENT PEMANAS DIPOSISI VERTIKAL	79
	<i>Muhamad Zulfikar, Dwi Yuliaji, Mulya Juarsa, Rahayu Kusumastuti, G. Bambang Heru K, Giarno, Dedi Haryanto</i>	
10.	VARIASI STRATEGI INTRUSI DAN PENDEKATAN STOKASTIK PADA ANALISIS SISTEM PROTEKSI FISIK FASILITAS NUKLIR	89
	<i>Yanuar Ady Setiawan</i>	
11.	APLIKASI ISOTOP ALAM ^{14}C UNTUK MENENTUKAN UMUR AIR TANAH AKUIFER DALAM DI KAWASAN NUKLIR PASAR JUMAT JAKARTA	97
	<i>Satrio, Rasi Prasetio, Bungkus Pratikno</i>	
12.	ANALISIS KOMPOSISI KIMIA DAN FASA PADA SERBUK PADUAN U-Zr-Nb PASCA HIDRIDING-DEHIDRIDING	103
	<i>Masrukan M, Saga Octa D, M.H Alhasa</i>	
13.	PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN TERHADAP UKURAN PARTIKEL CrPO_4 SEBAGAI BAHAN PEMBUAT SKIN PATCH BERTANDA RADIOISOTOP ^{32}P	111
	<i>Wira Y. Rahman, Endang Sarmini, Hambali, Sriyono, Herlina, Abidin, Arni Aries</i>	
14.	PEMBAKUAN METODE ANALISIS FISIKOKIMIA BAHAN BAKAR $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ DENSITAS $4,8 \text{ gU/cm}^3$ PASCA IRADIASI	119
	<i>Aslina Br.Ginting, Yanlinasuti, Boybul, Arif Nugroho, Supardjo</i>	
15.	KONSENTRASI RADON DALAM RUMAH (RADON INDOOR) DI WILAYAH MALUKU UTARA	131
	<i>Wahyudi, Ilma Dwi Winarni, Kusdiana, Oktisya Devi Widyaningsih</i>	
16.	PEMISAHAN URANIUM DALAM PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ DENSITAS $2,96 \text{ gU/cm}^3$ PASCA IRADIASI DENGAN METODE KOLOM PENUKAR ANION	139
	<i>Yanlinastuti, Boybul, Iis Haryati, Sutri Indaryati, S Fatimah Aslina Br. Ginting</i>	
17.	ANALISIS PENETRASI DAN PEMAYARAN MESIN BERKAS ELEKTRON GJ-2 DENGAN ARUS 2 mA DAN ENERGI 1,5 MeV	149
	<i>Arif Rachmanto, Paulus Supandi</i>	
18.	KAJIAN UPAYA MENUJU APLIKASI KETENAGANUKLIRAN YANG AMAN DAN ANDAL MELALUI BATAN 4.0	157
	<i>Eri Hiswara</i>	
19.	PENGAJIAN PENERAPAN ISO 19443:2018 PADA PENGGUNAAN ENERGI NUKLIR DI INDONESIA	167
	<i>Suzie Darmawati, Sigit Santosa, Anggrani Ratih Kumaraningrum, Jepri Sutanto, Hanna Yasmine, Sugiyarto, Pudji Sulisworo, Budi Santoso</i>	
20.	PENGEMBANGAN KOMPETENSI PERSONEL DI BIDANG KETENAGANUKLIRAN	183
	<i>Jepri Sutanto, A.Bayu Purnomo, Pudji Sulisworo</i>	
21.	EVALUASI PERENCANAAN STRATEGIS BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL TAHUN 2015-2019	189
	<i>Harini Wahyuningrum, Rahkmat Hidayat, Dwi Irwanti</i>	

22.	PENILAIAN MATURITAS IMPLEMENTASI BUDAYA KESELAMATAN PADA INSTALASI NUKLIR	203
	<i>Johnny Situmorang, Sigit Santoso</i>	
23.	PERSEPSI MASYARAKAT SEKITAR KAWASAN PUSPIPTEK SERPONG TERHADAP POTENSI DAMPAK SOSIAL RENCANA PEMBANGUNAN RDNK	211
	<i>Siti Alimah, Mudjiono, Ristiana Dwi Hastuti</i>	
24.	PENGEMBANGAN KEPEMIMPINAN UNTUK KESELAMATAN DI INSTALASI NUKLIR	219
	<i>Reno Alamsyah</i>	
25.	ANALISIS METODE PEMBUATAN TERMOKOPEL TIPE-K PADA UNTAI FASSIP-02	225
	<i>Arif Adtyas Budiman, G. Bambang Heru, Mulya Juarsa</i>	
26.	KARAKTERISASI PEMANASAN DAN PENDINGINAN UNTAI FASSIP-01 BERDASARKAN KEMAMPUAN PENDINGINAN UNTAI HEAT SINK SYSTEM	239
	<i>Giarno, Joko PW., G.B. Heru K., Ainur Rosidi, Dedy Haryanto, Mulya Juarsa, Deswandri</i>	
27.	PENGEMBANGAN SISTEM KENDALI PEMANAS BERBASIS LABVIEW UNTUK EKSPERIMEN KONDISI TUNAK PADA FASSIP-02	245
	<i>G. Bambang Heru K, Ainur Rosidi, Giarno, Dedy H, Mulya J, M Hadi K</i>	
28.	VISUALISASI DISTRIBUSI SUHU WATER HEATING TANK UNTAI FASSIP-02 MENGGUNAKAN KAMERA INFRA MERAH	253
	<i>Dedy Haryanto, Giarno, Joko Prasetio Witoko, G. Bambang Heru K., Mulya Juarsa, M. Hadi Kusuma</i>	
29.	PENGARUH JUMLAH SPESIMEN DALAM UJI TEKAN MATERIAL GRAFIT IG-110	263
	<i>Roziq Himawan, Andryansyah, Mudi Haryanto, Darlis</i>	
30..	KLASIFIKASI JENIS INTRUSI JARINGAN KOMPUTER BERBASIS PEMBELAJARAN MESIN	269
	<i>A. A. Waskita, R. Maerani</i>	
31.	ANALISIS ALIRAN DAYA GENERATOR CATU DAYA DARURAT UTILITAS LABORATORIUM NMEI- GEDUNG 71 PRFN-BATAN	279
	<i>Tukiman, Khairul Handono, Indarzah MP, Bang Rozali</i>	
32.	ANALISIS KERETAKAN BETON PADA LANTAI RUANG PRIMER RSG GAS	285
	<i>Abdul Hafid, Djati H.S. , Sriyono, R. Kusumastuti, M.B. Mike Susmikanti, Santosa Pujarta</i>	
33.	ANALISIS LAJU ALIRAN SIRKULASI ALAM DI BAGIAN TUBE WATER-JACKET COOLER BERDASARKAN PERUBAHAN LAJU ALIRAN PENDINGIN REFRIGERASI PADA FASILITAS USSA-FTS01	293
	<i>Kiki Ardian, Dwi Yuliaji, Mulya Juarsa</i>	
34.	REMAINING LIFE ASSESSMENT OF HP MOD MA REFORMER TUBE MATERIAL IN CHEMICAL FERTILIZER PLANT	301
	<i>Alim Mardhi, Andryansah, Mudi Haryanto, Deswandri, Geni Rina Sunaryo</i>	

35.	PENENTUAN DAMPING OPTIMAL FLOWMETER ULTRASONIK PADA FASILITAS EKSPERIMEN REACTOR CAVITY COOLING SYSTEM (RCCS)	309
	<i>Sudarno, Kiswanta, Arif Adtyas</i>	
36.	IDENTIFIKASI DAN KOREKSI TILT & SKEW PADA REKONSTRUKSI CT MENGGUNAKAN SOFTWARE OCTOPUS	317
	<i>Fitri Suryaningsih, Devina Chandra Dewi¹, Demon Handoyo, Rhakamerta Hijazi</i>	
37.	METODE DIAGNOSTIK KEDOKTERAN NUKLIR UNTUK PENILAIAN DISFUNGI KELENJAR TIROID PADA DIABETES MELLITUS TIPE-2	329
	<i>Fadil Nazir dan Maria Evalisa</i>	
38.	KAJIAN METODA NDT UNTUK DETEKSI CACAT LACK OF FUSION PADA LASAN	337
	<i>Mudi Haryanto, Andryansyah, Lily Suparlina</i>	
39.	ANALISA KETIDAKPASTIAN PROSES KALIBRASI LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMER (LVDT) PADA PENGUJIAN CREEP MATERIAL PLTN	347
	<i>Darlis, Alim Mardhi, Dwijo Mulyanto, Almira Citra, Andryansyah, Aris Munandar, Deswandri</i>	
40.	KALIBRASI IN-SITU DETEKTOR IONISASI WELL TYPE UNTUK Ir-192 DI RUMAH SAKIT UNIVERSITAS ANDALAS, PADANG	353
	<i>Assef Firnando Firmansyah, Sri Inang Sunaryati, Okky Agassy Firmansyah, Fiqi Diyona, Muhammad Al Jabbar Kanie</i>	
41.	LAJU ALIRAN SIRKULASI ALAM DI BAGIAN BAND HEATER BERDASARKAN PERUBAHAN DAYA PADA UNTAI USSA FTS-01	359
	<i>Fazar Mu'Alif, Dwi Yuliadji, Edi Marzuki, Mulya Juarsa</i>	
42.	ANALISIS KUALITAS RAW MIX DENGAN STATISTICAL QUALITY CONTROL	367
	<i>Ely Rahmi, Elita Amrina</i>	
43.	KAJIAN IDENTIFIKASI KETENTUAN KLASIFIKASI KESELAMATAN STRUKTUR, SISTEM, DAN KOMPONEN REAKTOR NONDAYA	373
	<i>Catur Febriyanto S.</i>	
44.	KARAKTERISTIK PENDINGINAN PADA WATER JACKET UNTAI USSA-FT01 BERDASARKAN PERBEDAAN DAYA HEATER	385
	<i>Bernard Rumpedai, Dwi Yuliaji, Mulya Juarsa</i>	
	DAFTAR INDEKS PENULIS MAKALAH	393

KALIBRASI IN-SITU DETEKTOR IONISASI WELL TYPE UNTUK Ir-192 DI RUMAH SAKIT UNIVERSITAS ANDALAS, PADANG

Assef Firmando Firmansyah¹, Sri Inang Sunaryati¹, Okky Agassy Firmansyah¹, Fiqi
Diyona², Muhammad Al Jabbar Kanie²

¹PTKMR BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya, Jakarta Selatan, 12440

²Rumah Sakit Universitas Andalas, Jl. Universitas Andalas, Padang, 25176

Email: firmando3154@gmail.com

ABSTRAK

**KALIBRASI IN SITU DETEKTOR IONISASI WELL TYPE UNTUK Ir-192 DI
RUMAH SAKIT UNIVERSITAS ANDALAS, PADANG.** Makalah ini menguraikan kalibrasi detektor ionisasi *well type* TM 33004/000626 yang dihubungkan dengan elektrometer Unidos E T10008/082207 terhadap detektor ionisasi standar *well type* HDR-1000 Plus/A152152 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Weblin/ T10022/268 untuk sumber radiasi brakhiterapi HDR Ir-192 dengan faktor kalibrasi dalam besaran kuat kerma udara. Kalibrasi dilakukan menggunakan metoda substitusi dengan posisi sumber radiasi di kedalaman detektor *well type* dengan respon maksimum. Metode substitusi yang digunakan merupakan prosedur kalibrasi yang diadopsi dari protokol yang dipublikasi oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Detektor standar *well type* HDR-1000 Plus/A152152 dikalibrasi dalam besaran kuat kerma udara di University of Wisconsin Accredited Dosimetry Calibration Laboratory tertelusur ke National Institute of Standard and Technology (NIST). Hasil yang diperoleh menunjukkan faktor kalibrasi dari detektor ionisasi *well type* TM 33004/000626 yang dihubungkan dengan elektrometer Unidos E T 10008/082207 dalam besaran kuat kerma udara adalah $9,724 \pm 3 \%$. Hasil kalibrasi in-situ ini berada dalam rentang yang baik dengan deviasi sebesar 0,6 % terhadap hasil kalibrasi sebelumnya.

Kata kunci: Brakhiterapi, Detektor ionisasi *Well Type*, Kuat Kerma Udara, HDR Ir-192

ABSTRACT

THE ON SITE CALIBRATION OF THE WELL TYPE IONIZATION CHAMBER FOR HDR Ir-192 AT THE UNAND ACADEMIC HOSPITAL, PADANG. This paper deals with the on site calibration of a *well type* chamber type of TM 33004/000626 connected to a Unidos E T 10008/082207 electrometer against the standard *well type* ionization chamber type of HDR-1000 Plus/A152152 connected to a PTW Weblin/ T 10022/268 electrometer for a brachytherapy source HDR Ir-192 in term of air kerma strength. Calibration has been carried out by using substitution methods at the position of the source inside the chamber with maximum response. The substitution method used is a calibration procedure adopted from the calibration protocol published by International Atomic Energy Agency (IAEA). The standard chamber HDR- 1000 Plus /A152152 was calibrated in term of air kerma strength at the University of Wisconsin Accredited Dosimetry Calibration Laboratory directly traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST). The result obtained showed that the calibration factor of the *well type* chamber type of TM 33004/000626 connected to a Unidos E T 10008/082207 in term of air kerma strength was $9.724 \pm 3\%$. In summary : the on site calibration measurement using substitution methods for ^{Ir-192} deviate 0.6 % compared to the previous calibration.

Keywords: Brachytherapy, Well Type Ionization Chamber, Air Kerma Strength, HDR Ir-192

PENDAHULUAN

Brakhiterapi adalah prosedur khusus dalam radioterapi yang menggunakan penyinaran tumor dengan sumber radiasi yang ditempatkan dengan jarak yang dekat dari tumor[1]. Di Indonesia penggunaan modalitas brakhiterapi untuk pengobatan kanker semakin berkembang. Isotop yang paling umum digunakan adalah Ir-192 yang memiliki waktu paruh 74 hari dengan energy rata-rata 350 keV. Disamping itu beberapa rumah sakit menggunakan sumber radiasi Co-60 yang memiliki waktu paruh 5,27 tahun dengan energy rata-rata 1250 keV[2].

Unit Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas (RS. Unand), Padang memiliki fasilitas brakhiterapi menggunakan sumber radiasi HDR Ir-192 tipe Microselectron V2. Sumber radiasi HDR Ir-192 tipe Microselectron V2 dan detektor ionisasi *well type* dapat dilihat pada Gambar 1. Untuk mengkalibrasi sumber radiasi HDR Ir-192 sebelum penggunaan klinis, maka unit ini dilengkapi detektor ionisasi *well type* PTW [REF] TM 33004/000626 yang dirangkaikan dengan elektrometer PTW Unidos E model T10008/082207. Dalam beberapa publikasi, Detektor ionisasi *well type* ini merupakan detektor ionisasi yang direkomendasikan karena beberapa keunggulannya[3–5]. Dengan adanya detektor ionisasi ini, maka rekomendasi beberapa publikasi agar fisikawan medis di rumah sakit dapat melakukan pengukuran sumber brakhiterapi dalam besaran kuat kerma udara sebagai bagian program jaminan mutu dapat diterapkan[6].

Penggunaan brakhiterapi di Indonesia diatur melalui Perka Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) yang salah satu pasalnya mewajibkan kepada rumah sakit untuk mengkalibrasi sumber radiasi brakhiterapi dan detektor yang dimilikinya[7]. Esensi dari ketentuan ini adalah untuk menjamin keselamatan dan kesehatan penggunaan radiasi pengion[8].

Makalah ini menguraikan pengukuran kalibrasi in-situ alat ukur radiasi brakhiterapi yang terdiri detektor *well type* [REF]TM 33004/000626 yang dirangkaikan dengan elektrometer PTW Unidos E model T10008/082207 yang dilakukan di Unit Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas, Padang



Gambar 1. Sumber radiasi HDR Ir-192 tipe Microselectron V2 dan detektor ionisasi *well type*

TINJAUAN PUSTAKA

Metoda Kalibrasi

Kalibrasi Detektor Ionisasi *Well Type* Menggunakan Sumber Standar

Luaran sumber radiasi brakhiterapi dinyatakan dalam besaran laju kerma udara acuan pada jarak 1 meter (*reference air kerma rate, RAKR*) atau kuat kerma udara (*air kerma strength, S_K*) terkoreksi dengan hamburan dan atenuasi[9–11]. Ketika sebuah laboratorium dosimetri terakreditasi memberikan nilai RAKR atau *air kerma strength* pada sebuah sumber, maka dapat dikatakan sumber tersebut memiliki kalibrasi dengan ketertelusuran langsung[12,13].

Untuk standarisasi besaran laju kerma udara acuan dari sebuah sumber radiasi maka dilakukan penentuan laju kerma udara dari sumber tersebut pada jarak 1 m. Pengukuran dilakukan menggunakan detektor ionisasi standar primer. Ketidakpastian dari sumber standar ini biasanya lebih kecil dari 1%. Sumber yang terstandar ini digunakan untuk mengkalibrasi detektor ionisasi *well type*. Standarisasi dalam besaran laju kerma udara acuan ini umumnya dilakukan di laboratorium dosimetri standar primer (LDSP)[10,14].

Kalibrasi Detektor Ionisasi *Well Type* Menggunakan Detektor Ionisasi Acuan

Bagi laboratorium dosimeter standar sekunder (LDSS) dengan kemampuan yang terbatas, kalibrasi detektor ionisasi *well type* menggunakan sumber standar ini tidak mudah untuk diterapkan. Hal ini disebabkan oleh waktu paruh ($T_{1/2}$) sumber Ir-192 yang pendek yang mengharuskan laboratorium untuk mengganti sumber ini empat kali setahun dan ketersediaan detektor standar primer yang digunakan untuk standarisasi sumber dalam besaran RAKR atau S_K belum terpenuhi.

Untuk mengatasi hal tersebut, alternatif yang dapat diterapkan adalah menggunakan metoda kalibrasi substitusi, artinya detektor ionisasi *well type* standar dan yang dikalibrasi disinari secara bergantian menggunakan sumber Ir-192 yang dimiliki oleh rumah sakit. Metode substitusi ini diadopsi dari prosedur kalibrasi untuk dosimeter untuk radioterapi yang dipublikasikan IAEA[15,16]. Dengan metoda ini muatan yang dikumpulkan oleh kedua detektor setelah dilakukan beberapa koreksi dibandingkan. Nilai faktor kalibrasi detektor yang dikalibrasi dapat dinyatakan sebagai berikut[15][16]:

$$N_{AKS} = \frac{M_{std} \cdot N_{AKSstd} \cdot K_{PT}}{M \cdot K_{PT}} \quad (1)$$

dengan

- N_{AKS} : Nilai faktor kalibrasi detektor yang dikalibrasi dalam besaran air kerma strength ($\text{Gy m}^2\text{h}^{-1}\text{A}^{-1}$)
 M_{STD} : Bacaan detektor *well type* standar (nC)
 N_{AKSSTD} : Nilai faktor kalibrasi detektor ionisasi *well type* standar ($\text{Gy m}^2\text{h}^{-1}\text{A}^{-1}$)
 M : Nilai bacaan detektor *well type* yang dikalibrasi (nC)
 K_{PT} : Faktor koreksi temperatur dan tekanan udara ruang

Kelemahan dari metoda substitusi ini adalah ketidakpastian hasil kalibrasinya lebih besar dibandingkan dengan metoda sumber standar. Disamping itu kalibrasi harus dilakukan *in-situ* menggunakan sumber radiasi milik rumah sakit.

Pengukuran peratikel bermuatan oleh detektor ionisasi dipengaruhi oleh faktor eksternal yaitu temperatur dan tekanan[17]. Faktor koreksi temperatur dan tekanan udara ruang dihitung dengan menggunakan rumus[15]:

$$K_{PT} = \frac{273,15 + T}{273,15 + T_0} \times \frac{P_0}{P} \quad (2)$$

dengan

- K_{PT} : Faktor koreksi temperatur dan tekanan udara ruang
 T : Temperatur terukur ($^{\circ}\text{C}$)
 T_0 : Temperatur referensi (20°C)
 P : Tekanan Terukur (kPa)
 P_0 : Tekanan Terukur (kPa)

METODOLOGI

Peralatan

Sumber Radiasi Brakhiterapi

Sebagai sumber radiasi brakhiterapi digunakan Ir-192 tipe Microselectron V2 dengan aktivitas 487,6 GBq (13,71 Ci) pada tanggal 14 November 2018. Kuat kerma udara pada jarak 1 m pada tanggal tersebut adalah $53,64 \text{ mGy/h} \pm 5\%$ [18].

Alat Ukur Radiasi Brakhiterapi

Alat ukur radiasi brakhiterapi standar yang digunakan PTKMR-BATAN adalah detektor ionisasi *well type* HDR-1000 Plus/A152152 buatan Standard Imaging yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Unidos Webline T10022/268. Alat ukur radiasi ini dikalibrasi dalam besaran kuat kerma udara di *University of Wiscounsin Accredited Dosimetry Calibration Laboratory* tertelusur ke *National Institute of Standard and Technology* (NIST) dengan faktor kalibrasi $N_{AKS} = 4,690 \times 10^5 \text{ Gy m}^2\text{h}^{-1}\text{A}^{-1}$ [19]. Detektor ionisasi *well type* ini dijaga stabilitasnya pada rentang deviasi $\pm 0,5\%$ sesuai dengan rekomendasi[15,20].

Alat ukur radiasi yang digunakan Rumah Sakit Universitas Andalas adalah detektor ionisasi *well type* [REF] TM33004/000626 buatan *Physikalisch-Technische Werkstatttten* (PTW), Jerman. Detektor ionisasi *well type* ini dihubungkan dengan elektrometer PTW Unidos E T10008/082207. Faktor kalibrasi N_{AKS} dari alat ukur radiasi brakhiterapi yang dikeluarkan pabrik pada tanggal 7 April 2016 adalah $9,967 \times 10^5 \text{ Gy.m}^2.\text{h}^{-1}.\text{A}^{-1}$ [21].

Tata Kerja

Pengukuran Posisi Respon Maksimum Sumber Ir-192

Pengukuran kalibrasi dilakukan dengan menempatkan detektor di atas meja kayu di tengah-tengah ruangan penyinaran pasien dengan jarak 1 meter dari setiap dinding dan 1 meter dari lantai. Hal ini bertujuan untuk mengurangi efek hamburan yang akan juga ikut terukur oleh detektor[5,15,22].

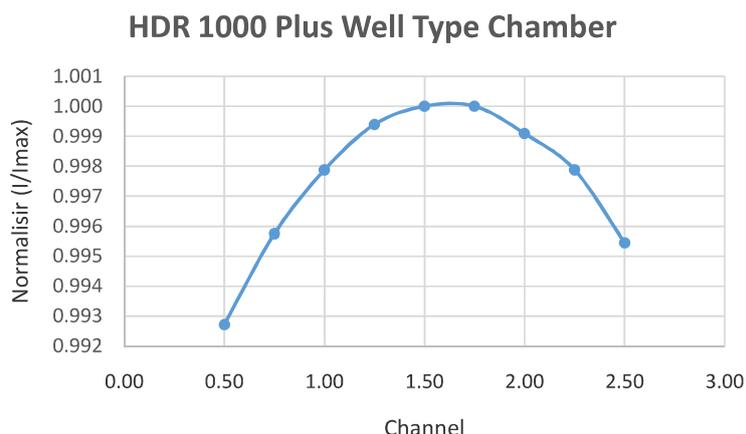
Kedua detektor ionisasi *well type* milik PTKMR BATAN maupun RS. Universitas Andalas diletakkan pada sebuah ruangan dengan tujuan agar kedua detektor menyesuaikan dengan kondisi temperatur dan tekanan pada tempat tersebut. Pemanasan sistem kedua alat ukur radiasi brakhiterapi yang terdiri dari detektor ionisasi *well type* yang dihubungkan dengan masing-masing elektrometernya dilakukan hingga alat mencapai kondisi stabil untuk pengukuran. Setelah itu dilakukan penyinaran pendahuluan (*pra-iradiasi*) untuk waktu yang secukupnya dan dilanjutkan dengan pengukuran radiasi latar (*background*).

Pemindaian (*scanning*) dilakukan untuk memperoleh posisi respon dari bacaan sumber radiasi Ir-192[12,23]. Pemindaian (*scanning*) bacaan sumber radiasi Ir-192 dilakukan di dalam detektor ionisasi *well type* standar. Bacaan ditunggu hingga sampai posisi respon maksimum diperoleh, kemudian dilakukan pengukuran kuat kerma udara untuk 5 data pengukuran. Data diambil dengan waktu 1 menit penyinaran. Kondisi temperatur dan tekanan di dalam ruangan juga dihitung sebagai koreksi temperatur dan tekanan (K_{PT})

Pengukuran kuat kerma udara dilakukan dengan detektor ionisasi *well type* standar HDR-1000 Plus/152152 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Unidos Webline T10022/268 pada posisi sumber radiasi dengan respon maksimum untuk waktu penyinaran 1 menit. Setelah data pengukuran didapatkan, substitusi dilakukan pada detektor ionisasi *well type* standar dengan detektor yang dikalibrasi yaitu detektor ionisasi *well type* [REF] TM330004/000626.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemindaian (*scanning*) detektor ionisasi *well type* standar untuk sumber radiasi HDR Ir-192 pada beberapa posisi di dalam detektor dapat dilihat pada Gambar 2 ini.



Gambar 2 Hasil pemindaian sumber radiasi HDR Ir-192 oleh detektor ionisasi *well type* standar HDR -1000 Plus/A152152

Dari Gambar 2 tersebut dapat dilihat bahwa posisi sumber radiasi Ir-192 di dalam detektor ionisasi *well type* standar dengan respon maksimum diperoleh pada *channel* 1,5. Pada posisi ini maka dilakukan pengukuran kuat kerma udara untuk 1 menit penyinaran yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini. Dengan cara yang sama dilakukan untuk detektor ionisasi *well type* yang dikalibrasi yang posisi respon maksimum diperoleh pada *channel* 4,5.

Pada posisi maksimum, dilakukan pengukuran sumber Ir-192 dengan menggunakan detektor ionisasi *well type* standar dan detektor ionisasi *well type* yang dikalibrasi. Hasil pengukuran sumber Ir-192 menggunakan kedua detektor ionisasi *well type* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengukuran sumber radiasi Brakhiterapi Ir-192 menggunakan detektor ionisasi *well type*

Detektor	Elektrometer	Bacaan (nC/menit)	K_{PT}	N_{AKS} ($Gy\ m^2\ h^{-1}\ A^{-1}$)	AKS ($mGy\ h^{-1}$)
HDR1000 Plus/A152152	PTW Unidos Webline T10022/268	1,975	1,018	$4,690 \times 10^5$	15,722
[REF] TM330004/000626	PTW Unidos E T10008/082207	0,9526	1,018	-	-

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa hasil pengukuran kuat kerma udara sumber radiasi HDR Ir-192 dengan detektor ionisasi *well type* standar mendapatkan nilai 15,722 mGy/h. Kuat kerma udara sumber radiasi HDR Ir-192 pada tanggal 14 November 2018 adalah 53,64 mGy/h \pm 5 %. Jika nilai ini diluruhkan ke tanggal pengukuran yaitu tanggal 26 Maret 2019 jam 14.00 WIB, maka diperoleh nilai kuat kerma udara adalah 15,649 mGy/h. Dengan demikian terdapat deviasi sebesar 0,5% antara pengukuran dan perhitungan peluruhan. Hal ini menunjukkan hasil pengukuran masih berada di dalam rentang ketidakpastian terentang (*expanded uncertainty*).

Dari Tabel 1 dapat dilihat juga bahwa hasil kalibrasi detektor ionisasi *well type* [REF] TM330004/000626 yang dihitung dengan Persamaan 1 mendapatkan faktor kalibrasi dalam besaran kuat kerma udara adalah $9,724 \times 10^5\ Gy.m^2.h^{-1}.A^{-1}$, sementara itu faktor kalibrasi alat ukur radiasi brakhiterapi yang dikeluarkan pabrik pada tanggal 7 April 2016 adalah $9,667 \times 10^5\ Gy.m^2.h^{-1}.A^{-1} \pm 3\%$. Dengan demikian terdapat perbedaan yang tidak signifikan sebesar 0,6%. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas detektor ionisasi *well type* [REF] TM33004/000626 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Unidos E T10008/082207 selama 3 tahun tidak berubah secara signifikan.

KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN

Ketidakpastian hasil pengukuran dievaluasi sesuai dengan kriteria yang terdapat dalam ISO/TAG 4/WG 3: *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* yang mendefinisikan dua katagori komponen ketidakpastian yaitu Tipe A dan Tipe B[24]. Komponen ketidakpastian tipe A meliputi: bacaan berulang alat ukur radiasi brakhiterapi standar dan bacaan berulang alat ukur radiasi brakhiterapi yang dikalibrasi, sedangkan tipe B meliputi: ketidakpastian stabilitas alat ukur radiasi brakhiterapi standar, perubahan posisi sumber, faktor kalibrasi alat ukur radiasi brakhiterapi standar, barometer, termometer .

Evaluasi ketidakpastian pengukuran berdasarkan komponen ketidakpastian tersebut di atas diperoleh ketidakpastian terentang (*Expanded Uncertainty*) sebesar $\pm 3,0\%$.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa kalibrasi in-situ alat ukur radiasi brakhiterapi milik Unit Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas mendapatkan faktor kalibrasi dalam besaran kuat kerma udara adalah $9,724 \times 10^5\ Gy.m^2.h^{-1}.A^{-1}$. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa detektor ionisasi *well type* mempunyai stabilitas yang baik yaitu 0,6% jika dibandingkan dengan faktor kalibrasi yang dikeluarkan oleh pabrik. Dengan adanya pengukuran in-situ oleh pihak yang independen ini, akan lebih meyakinkan dalam jaminan keselamatan dan kesehatan penggunaan radiasi pengion khususnya dalam brakhiterapi

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh staf Unit Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas atas bantuan dan kerja-samanya sehingga penulisan makalah ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. National Physical Laboratory. HDR Brachytherapy Dosimetry at NPL. 2016.
2. Rajagukguk N, Firmansyah AF. Komunikasi pribadi dengan fisikawan medis RS Murni Teguh Memorial Hospital, RSUD Moewardi, RSUD Sanglah, RS Bandung Kopo, RS Kanker Dharmais, RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo, RSUD Dr. Sardjito, RS Universitas Andalas dan RSUD Prof. DR Margono Soekarjo. 2019.

3. Vandana S, Sharma SD. Long term response stability of a well-type ionization chamber used in calibration of high dose rate brachytherapy sources. *J Med Phys.* 2010;35(2):100–3.
4. Bondel S, Ravikumar M, Supe SS. Calibration of 192 Ir high dose rate brachytherapy source using different calibration procedures. *Reports Pract Oncol Radiother.* 2014;19(3):151–6.
5. Azhari HA, Hensley F, Schütte W, Zakaria GA. Dosimetric verification of source strength for HDR afterloading units with Ir-192 and Co-60 photon sources : Comparison of three different international protocols. *J Med Phys.* 2012;37(4):183–92.
6. Nath R, Anderson LL, Meli JA, Olch AJ, Stitt JA, Williamson JF. Code of practice for brachytherapy physics : Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No . 56. Vol. 24. 1997.
7. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 tahun 2006 tentang Laboratorium Dosimetri, Kalibrasi Alat Ukur Radiasi dan Keluaran Sumber Radiasi, Terapi, dan Standardisasi Radionuklida. 2006.
8. Pemerintah Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah No.63 Tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja Terhadap Radiasi Pengion. 2000.
9. Tedgren ÅC. SSI Rapport 2007:13-Dosimetry audit on the accuracy of 192 Ir brachytherapy source strength determination in Sweden. 2007.
10. Chu W, Yuan M, Lee J, Lin Y. Reference air kerma rate calibration system for high dose rate Ir-192 brachytherapy sources in Taiwan. *Radiat Phys Chem.* 2017;140(September 2016):1–4.
11. Saminathan S, Godson HF, Manickam R. Dosimetric evaluation of newly developed well-type ionization chamber for use in the calibration of brachytherapy sources. *J Med Phys.* 2016;41(November 2017).
12. Schüller A, Meier M, Selbach H, Ankerhold U, Schüller A, Meier M, et al. A radiation quality correction factor kQ for well-type ionization chambers for the measurement of the reference air kerma rate of 60Co HDR brachytherapy sources A radiation quality correction factor kQ for well-type ionization chambers for the measurement. 2015;4285.
13. Prinzi R Di, Eduardo C. Air kerma standard for calibration of well-type chambers in Brazil using Ir 192 HDR sources and its traceability. *Med Phys.* 2009;36(3):953–60.
14. Soares CG, Douysset G, Mitch M. Primary standards and dosimetry protocols for brachytherapy sources. *Metrologia.* 2009;46:S80–98.
15. International Atomic Energy Agency. IAEA-TECDOC-1274: Calibration of photon and beta ray sources used in brachytherapy. 2002.
16. International Atomic Energy Agency. IAEA TRS 469: Calibration of Reference Dosimeters for External Beam Radiotherapy. 2009.
17. Bohm TD, Griffin SL, Jr PMD, Dewerd LA, Bohm TD, Griffin SL, et al. The effect of ambient pressure on well chamber response : Monte Carlo calculated results for the HDR 1000 Plus The effect of ambient pressure on well chamber response : Monte Carlo calculated results for the HDR 1000 Plus. 2009;1103(2005).
18. Mallinckrodt Medical. Certificate for Sealed Source G2-00025X. 2018.
19. University of Wisconsin Accredited Dosimetry Calibration Laboratory. Report of Calibration well type HDR-1000 Plus/A152152. 2015.
20. Hackett SL, Davis B, Nixon A, Wyatt R. Constancy checks of well-type ionization chambers with external-beam radiation units. *J Appl Clin Med Phys.* 2015;16(6):508–14.
21. Physikalisch-Technische Werkstätten (PTW). Calibration Certificate No. 1601412 for Well Type Chamber [REF]TM33004 [SN]000626. 2016.
22. Almeida CE de, Pereira AJ, Marechal MH, Pereira G, Cruz JC, Ferraz JC, et al. Intercomparison of calibration procedures for 192 Ir HDR sources in Brazil. *Phys Med Biol.* 1999;44:31–8.
23. Bidmead AM, Sander T, Locks SM, Lee CD, Aird EGA, Nutbrown RF, et al. The IPEM code of practice for determination of the reference air kerma rate for HDR Ir-192 brachytherapy sources based on the NPL air kerma standard The IPEM code of practice for determination of the reference air kerma rate for HDR 192Ir brachytherapy so. *Phys Med Biol.* 2010;55:3145–59.
24. BIPM. JCGM 100:2008-Evaluation of measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement. Vol. 50. 2008.