

Verifikasi Sumber Brakiterapi HDR Ir-192 Menggunakan Detektor Ionisasi *Well Type Chamber* di Rumah Sakit Universitas Andalas

Ramacos Fardela^{1*}, Rika Analia²⁾, Atika Maulida²⁾, Suci Ramda Rena²⁾, Fiqi Diyona³⁾, Dedi Mardiansyah¹⁾

¹⁾Departemen Fisika, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

²⁾Pascasarjana Fisika Universitas Andalas, Padang, Indonesia

³⁾Fisikawan Medis, Instalasi Radioterapi, Rumah Sakit Universitas Andalas, Padang, Indonesia

*Email korespondensi : ramacosfardela@sci.unand.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.20527/16727>

Submitted: 03 Juli 2023; Accepted: 21 Agustus 2023

ABSTRAK—Unit Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas (RS. Unand), Kota Padang memiliki fasilitas brakiterapi dengan teknologi *multichannel indexer of High Dose Rate* pada *Remote after Loading System* tipe *MicroSelectron* HDR dengan jumlah 6 *channel*. Sumber radioaktif yang digunakan adalah Iridium-192 atau Ir-192 dengan aktivitas awal sekitar 12 Ci. Penelitian ini bertujuan untuk memverifikasi sumber brakiterapi terhadap HDR Ir-192 dengan menggunakan detektor ionisasi tipe *Well Type Chamber*. Detektor *Well Type Chamber* berfungsi untuk mengukur dosis radiasi yang diberikan pada pasien selama prosedur brakiterapi. Pada penelitian ini, detektor digunakan untuk mengukur dosis radiasi pada beberapa titik di sekitar sumber radiasi. Penelitian dilakukan dengan memverifikasi aktivitas sumber radiasi pada brakiterapi Ir-192 menggunakan tegangan 200 V dan 400 V dan diatur menggunakan elektrometer yang telah terhubung dengan detektor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa detektor *Well Type Chamber* yang digunakan dapat memverifikasi sumber brakiterapi dengan akurasi yang tinggi. Selain itu, nilai aktivitas yang terukur sesuai dengan yang diizinkan dalam standarisasi dalam brakiterapi, yaitu sekitar 10 hingga 12 GBq. Oleh karena itu, detektor ionisasi *Well Type Chamber* dapat digunakan secara efektif dalam verifikasi sumber brakiterapi. Sehingga, verifikasi yang tepat terhadap sumber radiasi adalah hal yang sangat penting untuk memastikan keamanan pasien dan efektivitas pengobatan.

KATA KUNCI: *aktivitas radiasi; brakiterapi; detektor well type chamber; electrometer; microselectron HDR IR-192.*

ABSTRACT—The Radiotherapy Unit at Andalas University Hospital (Unand Hospital), Padang City, has a brachytherapy facility with multichannel indexer technology of High Dose Rate on the Remote after Loading System type *MicroSelectron* HDR and has 6 channels. The radioactive source used is Iridium-192 or Ir-192, with an initial activity of about 12 Ci. This study uses a well-type chamber ionization detector to verify the brachytherapy source against HDR Ir-192. The well-type chamber detector measures the radiation dose given to the patient during the brachytherapy procedure. This study uses detectors to measure radiation dose at several points around the source. The study was conducted by verifying the activity of the radiation source in Ir-192 brachytherapy using a voltage of 200 V and 400 V. It was regulated using an electrometer connected to a detector. The results show that the well-type chamber detector could accurately verify the source of brachytherapy. In addition, the measured activity values are in accordance with those permitted in standardization in brachytherapy, which is around 10 to 12 GBq. Therefore, well-type chamber ionization detectors can effectively verify brachytherapy sources. Thus, proper radiation source verification is paramount to ensure patient safety and treatment effectiveness.

KEYWORD: *brachytherapy; electrometer; microselectron HDR IR-192; radiation activity; well type chamber detector.*

PENDAHULUAN

Brakiterapi (*Brachytherapy*) adalah salah satu modalitas pengobatan yang paling penting yang biasa digunakan sebagai pilihan pengobatan primer atau tambahan untuk kanker. Pengobatan menggunakan modalitas brakiterapi diperlukan distribusi dosis jarak dekat, dapat melalui intersial, intrakaviter dan intravaskular (Viswanathan et al., 2012). Penggunaan brakiterapi di Indonesia sebagai modalitas pengobatan kanker semakin berkembang. Isotop Ir-192 merupakan isotop yang paling sering dan umum digunakan dengan waktu paruh (*half time*) 74 hari dan energi rata-rata 350 keV. Selain itu, sumber pada brakiterapi juga menggunakan isotop Co-60 dengan waktu paruh 5,27 tahun dan energi rata-rata sebesar 1250 keV (Trijoko & Firmansyah, 2019).

Unit Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas (RS. Unand), Kota Padang memiliki fasilitas brakiterapi dengan teknologi *multichannel indexer of high dose rate (HDR) remote after loading system* dengan jumlah 6 *channel*. Sumber radioaktif yang digunakan di RS. Universitas Andalas adalah Iridium-192 atau Ir-192 dengan aktivitas awal sekitar 12 Ci. Brakiterapi dapat digunakan untuk penanganan kasus kanker serviks, nasofaring, prostat, lidah, maupun kanker payudara.

Pengobatan menggunakan brakiterapi memanfaatkan radiasi pengion untuk membunuh jaringan kanker. Namun, sangat perlu dipastikan bahwa jaringan sehat tetap menerima dosis seminimal mungkin. Penelitian ini bertujuan untuk memverifikasi sumber brakiterapi terhadap HDR Ir-192 dengan menggunakan detektor ionisasi *Well Type Chamber*. Detektor dapat digunakan untuk mengukur dosis radiasi yang diberikan pada pasien selama prosedur brakiterapi.

Brakiterapi melibatkan prosedur manual sehingga terdapat beberapa kesalahan administrasi atau kesalahan dari manusia. Kesalahan administrasi terdapat pada berbagai macam peristiwa, seperti koneksi yang salah dari *transfer tube*, kesalahan rekonstruksi, dan kekuatan dari sumber. Banyak kesalahan yang mungkin terjadi, dan

jika terdeteksi hanya teridentifikasi setelah perawatan (Johansen et al., 2018).

Verifikasi sumber sangat perlu dilakukan karena brakiterapi adalah prosedur medis yang melibatkan penggunaan sumber radioaktif yang ditempatkan di dalam atau didekat tumor untuk mengobati kanker. Verifikasi sumber radioaktif ini memiliki peran penting dalam aspek keselamatan pasien, efektivitas pengobatan, pengurangan dosis radiasi pada jaringan sehat, dan sebagai pengendalian kualitas. Karakterisasi dosimetri dari sumber brakiterapi tersebut perlu dilakukan secara berkala sebelum digunakan pada pasien (Putra, Milvita, & Prasetio, 2015).

Untuk pembuktian adanya jaminan kualitas pada brakiterapi dapat dilakukan dengan jaminan kualitas untuk penilaian kualitas (*Quality Assesment (QA)*) sebagai cara untuk mengukur atau mengevaluasi kinerja proses radioterapi. *Quality Control (QA)* sebagai suatu ukuran untuk merawat, menilai dan untuk memperbaiki kualitas (Handoko, Hidayanto, & Richardina, 2018).

Trijoko dan Firmansyah (2019) melakukan penelitian untuk mengestimasi ketidakpastian dalam pengukuran dosis sumber pada brakiterapi Iridium-192 serta menentukan ketidakpastian dalam faktor kalibrasi dan laju kerma udara menggunakan detektor ionisasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketidakpastian nilai faktor kalibrasi laju kerma udara berkisar antara 1,18% hingga 2,52%, di mana faktor cakupan (k) adalah 2 ($k=2$). Nilai ini masih berada dalam batas yang direkomendasikan IAEA, yaitu kurang dari $\pm 5\%$ (Trijoko & Firmansyah, 2019). Penelitian ini dilaksanakan dengan mengukur dosis radiasi di beberapa titik di sekitar sumber radiasi menggunakan detektor *Well Type Chamber*. Penelitian ini diharapkan dapat memverifikasi kesesuaian sumber brakiterapi yang digunakan dan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

TINJAUAN PUSTAKA

Brakiterapi telah banyak digunakan untuk mengobati pasien kanker diseluruh dunia. Brakiterapi memiliki keuntungan

dalam penggunaan dosis radiasi tinggi atau *high dose rate* (HDR) yang dapat memberikan dosis yang tinggi pada tumor lokal secara konsisten dengan pengurangan resiko *Organ at Risk* (OAR) bersamaan dengan pengurangan dosis yang cepat (Lessard et al., 2002; Zaman et al., 2014). Pengobatan brakiterapi dilakukan dengan cara mendekatkan sumber radiasi pada tumor. Pemasangan sumber dapat dilakukan dengan cara implantasi (ditanam di dalam tubuh), intrakaviter (ditempatkan dalam kapitas tubuh), dan kontak. Sumber radiasi yang digunakan berupa sumber tertutup, seperti Ra-226, Co-60, Cs-137 dan Ir-192.

Dosimetri

Kuantitas dosimetri adalah kuantitas yang didefinisikan untuk memberikan ukuran fisik yang berkorelasi dengan efek radiasi pada materi seperti efek aktual atau potensial. Efek ini menggambarkan proses interaksi dengan materi seperti transfer energi partikel dan pengendapan energi dalam materi. Besaran dosimetri menggambarkan bagian konversi dari proses interaksi antara radiasi dan proses pengendapan energi. Karena hal tersebut, besaran dosimetri dapat dihasilkan langsung dari besaran radiometrik dan koefisien interaksi (Ravichandran, 2019).

Kerma dan Laju Kerma

Kuantitas kerma dari energi kinetik yang dilepaskan persatuan massa mengacu pada partikel energi kinetik partikel tak bermuatan seperti foton. Laju kerma K ($\text{J kg}^{-1} \text{s}^{-1}$) mengacu pada jumlah energi yang dilepaskan persatuan massa material saat terkena sumber radiasi, disajikan pada Pers. 1.

$$K = \frac{dK}{dt} \quad (1)$$

dimana K merupakan kerma (Gy/s), dK adalah kenaikan kerma dan dt merupakan interval waktu. Tingkat kerma dapat didefinisikan untuk bahan tertentu pada suatu titik didalam bahan (medium) yang berbeda (Baltas, Sakelliou, & Zamboglou, 2007). Sumber iradiasi sebagai titik pada vakum di mana sumber ideal terdiri dari radionuklida dan memiliki aktivitas (A). Jika K_δ adalah laju

kerma udara akibat energi foton lebih besar dari energi tertentu, maka nilai *cutt-off* dan pada jarak titik tersebut, dan konstanta laju kerma tersebut disajikan pada Pers. 2.

$$\Gamma_\delta = \frac{r^2 K_\delta}{A} \quad (2)$$

Satuan (Gy) untuk kerma dan Becquerel (Bq) untuk aktivitas, maka satuan konstanta dari laju kerma udara adalah ($\text{Gy s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$).

Foton di sini dianggap sebagai sinar- γ , karakteristik sinar- X dan *bremsstrahlung* intermal. Konstanta laju kerma udara didefinisikan untuk sumber ideal dengan sumber titik dan karakteristik untuk setiap radionuklida. Pada sumber yang nyata dengan ukuran yang terbatas, atenuasi dan hamburan pada sumber itu terjadi dan radiasi pemusnahan dengan *bremsstrahlung* eksternal dapat dihasilkan. Untuk memperhitungkan proses tersebut, maka koreksi khusus mungkin diperlukan (Baltas, Sakelliou, & Zamboglou, 2007).

Aktivitas Radiasi

Untuk menggambarkan secara kuantitatif ritme waktu terjadinya transformasi nuklir spontan (peluruhan) oleh sejumlah radionuklida tertentu, maka aktivitas (A) didefinisikan sebagai (Baltas, Sakelliou, & Zamboglou, 2007), dirumuskan pada Pers. 3.

$$A = \frac{dN}{dt} \quad (3)$$

Diketahui A merupakan aktivitas (Bq), dN merupakan jumlah peluruhan (Ci) dan dt mewakili interval waktu (s).

Sumber Iridium-192

Sumber radiasi yang digunakan dalam brakiterapi adalah sumber tertutup seperti Ra-226, Co-60, Cs-137 dan Ir-192. Pada dasarnya, sumber radiasi yang digunakan harus memenuhi standar dan lolos uji seperti uji tekanan, temperatur, getaran, dan sebagainya. Dalam brakiterapi, isotop Ir-192 merupakan sumber radiasi yang paling umum digunakan (Hanlon et al, 2022). Adapun karakteristik dari Ir-192 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Ir-192

Waktu paruh	74 hari
Energi sinar gamma	0.206 MeV - 0.612 MeV
Energi Beta	0.24(8%); 0.536(41%); 0.672(46%)
Exposure Rate	0.48 R/h
Air Kerma Rate	1.164 μ Gy/s
Output pada jarak 1 m	37 GBq (1Ci)
Reaksi inti	192 Ir (n, γ) 192 Ir

Hight Dose Rate (HDR) Brakiterapi

Menurut keputusan BAPETEN mengenai program jaminan kualitas instalasi radioterapi HDR dan LDR dalam brakiterapi, pemilihan antara keduanya harus didasarkan pada pertimbangan situasi klinis lokal, termasuk beban pasien, ketersediaan staf dan sumber daya. Penting untuk memperhatikan kekuatan sumber pada LDR dan HDR, terutama dalam hal bentuk referensi rata-rata kerma udara (RAKR) dan pemilihan aplikator. Brakiterapi yang terdapat di Rumah Sakit UNAND menggunakan *Microselectron* HDR dengan sumber Ir-192. Sumber brakiterapi HDR ini memiliki tingkat aktivitas yang tinggi, dimana jumlah foton yang dipancarkan lebih besar dibandingkan dengan jumlah volume sumber tersebut (BAPETEN, 2002).

Aktivitas spesifik adalah hubungan antara ukuran dengan nilai 9,2 kCi/g untuk Ir¹⁹² dan 1,1 kCi/g untuk Co-60. Waktu paruh untuk Ir-192 adalah 74 hari sedangkan Co-60 adalah 5,27 tahun dan membuat radionuklida jenis ini menarik untuk digunakan sebagai sumber brakiterapi HDR yang berenergi tinggi (Poder J, 2019). Brakiterapi HDR digunakan untuk memberikan dosis tinggi ke area tumor sambil meminimalkan dosis ke jaringan sehat disekitar target. Tingkat dosis tersebut dikontrol secara presisi untuk mencapai efek terapi pengobatan yang diinginkan sambil meminimalkan efek samping

Detektor Well Type Chamber

Detektor *Well Type Chamber* merupakan salah satu jenis detektor yang digunakan dalam radioterapi untuk mengukur dosis radiasi yang diterima pasien.

Gambar 1 menunjukkan bentuk detektor *well type chamber* dengan ciri-ciri seperti tabung

dengan lubang di tengah yang berfungsi untuk menempatkan sumber radiasi. Selain digunakan untuk mengukur dosis radiasi yang diterima pasien, detektor ini juga dapat digunakan untuk kalibrasi sumber radiasi brakiterapi Ir-192. Kalibrasi detektor dapat menggunakan metode substitusi dengan menempatkan posisi sumber radiasi pada kedalaman tertentu sehingga detektor tersebut merespon secara maksimum (Firmando et al., 2019).



Gambar 1. Detektor Well Type Chamber (RS. UNAND).

Detektor merupakan suatu bahan yang peka terhadap radiasi. Radiasi dapat berinteraksi dengan materi yang dapat melaluinya dengan proses ionisasi, eksitasi dan lain-lain. Proses Ionisasi pada detector menghasilkan ion positif dan negatif (elektron). Jumlah ion yang dihasilkan sebanding dengan energi radiasi dan berbanding terbalik dengan daya. Sehingga, luaran dari ion yang dihasilkan memberikan kontribusi terbentuknya pulsa listrik ataupun arus listrik. Luaran sumber radiasi brakiterapi dinyatakan dalam besaran acuan dengan jarak 1meter (RKAR) atau kuat kerma yang terkoreksi dengan hamburan dan attenuasi (Carlsson, 2007).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di ruangan Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah: Detektor *Well Type Chamber*, kateter sumber brakiterapi, *Microselectron* HDR Ir-192,

Meja, Kabel penghubung, Elektrometer dan komputer.

Pengambilan Data

Kalibrasi Alat

Kalibrasi dilakukan menggunakan detektor *well type chamber* yang telah tersedia dirumah sakit. Detektor diposisikan diatas meja dan ditempatkan pada jarak 1meter dengan pesawat Microselectron HDR. Detektor dilengkapi dengan lubang tempat pemasangan kateter, yang digunakan untuk memasang kateter yang membawa sumber menuju detektor. Penting untuk memastikan bahwa kateter pembawa sumber ini tetap lurus agar sumbernya dapat diarahkan dengan tepat ke detektor. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa posisi kateter berada sesuai dengan target yang ditentukan dan untuk memverifikasi keakuratan penempatan sumber radiasi terhadap target tersebut. Kabel dari detektor dihubungkan dengan elektrometer yang terletak di luar ruangan brakiterapi. Semua proses pengukuran dilakukan di ruangan terpisah, mengingat bahayanya radiasi jika pengukuran dilakukan diruangan yang sama.

Pengolahan Data

Pengambilan data dilakukan melalui komputer di ruang pemantau selama prosedur pengobatan brakiterapi. Dalam tahap kalibrasi, tegangan akan diperiksa untuk memastikan stabilitasnya pada setiap *step size*, khususnya dilihat pada tingkat tegangan yang tinggi. Pengaturan tegangan dimulai dari 200 Volt dan selanjutnya dinaikkan menjadi 400 Volt dengan bantuan elektrometer. Tujuannya, untuk mengetahui nilai keluaran arus yang tepat selama proses pengkalibrasian alat.

Pengukuran aktivitas untuk menentukan laju kerma udara

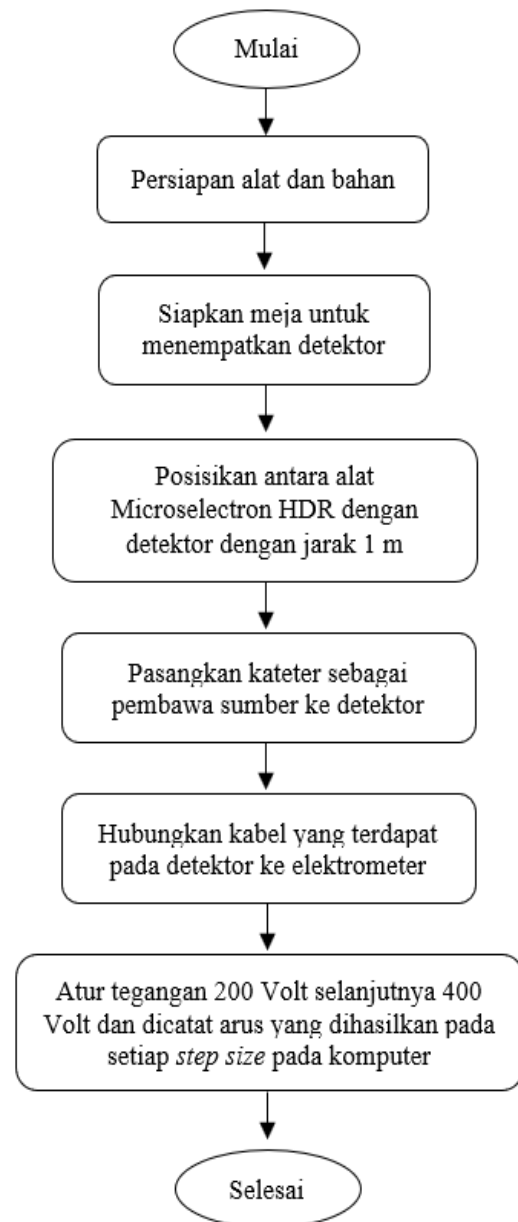
Pengukuran aktivitas yang akan diperoleh dari hasil kalibrasi dapat menggunakan Pers. 4.

$$Aktivitas = \text{Bacaan} \times k_{TP} \times k \quad (4)$$

Bacaan merupakan hasil pembacaan yang terdeteksi pada alat. Konversi ke penguat adalah langkah dimana bacaan dari alat

pengukur dikonversi menjadi nilai aktivitas yang sesuai. Konversi aktivitas (*k*) merupakan faktor kalibrasi yang digunakan untuk mengoreksi hasil pengukuran agar sesuai dengan kalibrasi alat pengukur radiasi dengan satuan Bq.

Tahapan Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kalibrasi Antara Detektor *Well Type Chamber* Dengan Elektrometer

Posisi detektor ditempatkan diatas meja dengan jarak 1meter dari pesawat Microselectron HDR untuk memastikan tidak ada hamburan ke lantai. Semakin jauh jarak sumber radiasi maka sumber dapat dianggap

sebagai titik sumber radiasi, sehingga hasil data dapat dikatakan lebih stabil (Putra, Milvita & Prasetyo, 2015). Berbagai faktor lain, seperti suhu, tekanan, temperatur juga diperhitungkan sebagai koreksi temperatur dan tekanan (*kTP*). Detektor ionisasi *Well Type Chamber* yang dihubungkan dengan elektrometer dilakukan pada alat dengan kondisi yang stabil untuk dilakukannya pengukuran.

Proses dimulai dengan menghubungkan elektrometer ke detektor *Well Type Chamber*, diikuti oleh sesi penyinaran awal (*pra-iridiasi*) yang diterapkan selama durasi yang sesuai. Setelahnya, pengukuran radiasi dilakukan dengan memanfaatkan sumber radiasi Ir-192, dan detektor akan menangkap radiasi tersebut. Bacaan tersebut ditunggu hingga mencapai posisi respon maksimum, setelah itu dilakukan pengukuran kerma udara. Elektrometer yang terhubung dengan detektor ionisasi *Well Type Chamber* dalam pengukuran sumber radiasi memiliki fungsi yang penting dalam mengukur arus atau muatan listrik yang dihasilkan oleh detektor selama pengukuran radiasi.

Detektor berperan dalam merespons radiasi yang terdeteksi dan arus yang dihasilkan memberikan informasi mengenai intensitas radiasi yang diterima oleh detektor. elektrometer yang digunakan mampu mengukur arus listrik yang sangat kecil dengan presisi yang tinggi. Karena sinyal yang dihasilkan oleh detektor *Well Type Chamber* mungkin lemah, elektrometer digunakan untuk memperkuatnya sehingga dapat diukur dan dianalisis dengan akurasi tinggi.

Penelitian ini menggunakan dua tegangan, yaitu 200 V dan 400 V yang kemudian digunakan untuk mengukur keluaran arusnya. Hasil keluaran arus untuk kalibrasi pada detektor *Well Type Chamber* dan elektrometer pada tegangan 200 V dan 400 V dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan hasil kalibrasi pengukuran keluaran sumber radiasi Ir-192 pada brakiterapi menggunakan detektor *Well Type Chamber* dan elektrometer.

Pengukuran dilakukan pada bulan

Januari 2022 sampai dengan Mei 2023, penelitian tidak dilakukan di setiap bulan dikarenakan untuk memberi jarak yang tepat untuk pengukuran aktivitas. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan tegangan 200 V dan 400 V pada saat bersamaan sehingga menghasilkan keluaran arus yang menandakan radiasi tersebut terdeteksi.

Pada saat pengukuran, suhu dan tekanan dalam ruangan diperhitungkan karena suhu ruangan dapat mempengaruhi respons detektor terhadap radiasi. Perubahan suhu yang tidak stabil dapat menyebabkan fluktuasi suhu pada detektor, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi stabilitas dan akurasi pengukuran radiasi. Suhu pada pengukuran ini, yaitu berkisar antara 19,7°C dan 21,8 °C dengan tekanan 994 hPa. Pengukuran aktivitas sumber radiasi awal adalah 499,8 GBq dan 508,6 GBq. Aktivitas sumber digunakan untuk menentukan persyaratan waktu yang tepat dalam penyimpanan dan penanganan yang tepat untuk bahan radioaktif. Jumlah aktivitas yang tersisa dalam sumber memberikan panduan tentang berapa lama waktu yang diperlukan agar aktivitas tersebut turun ke tingkat yang dianggap aman dan tidak berbahaya.

Nilai rata-rata arus pada bulan September tahun 2022 menunjukkan hasil arus yang lebih tinggi dibandingkan pengukuran pada bulan-bulan lainnya. Hal ini dijelaskan oleh perbedaan dalam aktivitas sumber radiasi dan penggunaan dua tingkat tegangan yang berbeda. Pada tegangan 200 V dengan aktivitas sumber 503,9 GBq, keluaran arus yang besar, yaitu 38,50 nA. Sedangkan pada tegangan 400 V dengan aktivitas sumber 499,8 GBq, keluaran rata-rata arusnya adalah 38,52 nA. Perbedaan dalam tingkat arus yang dihasilkan disebabkan karena perbedaan tegangan dan aktivitas sumber radiasi yang digunakan dalam pengukuran, sehingga dapat mempengaruhi hasil rata-rata arus yang tercatat pada bulan September tahun 2022.

Pada dasarnya, dengan meningkatnya tegangan, maka terdapat potensi menghasilkan arus yang lebih kecil karena pengaruhnya pada efek ionisasi,

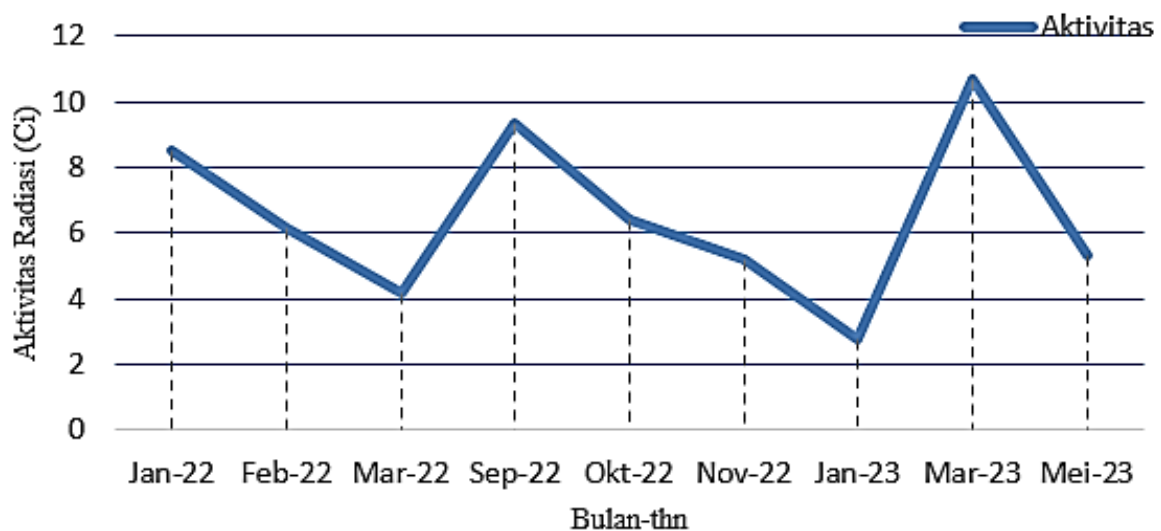
penghambatan medan listrik atau jumlah partikel radiasi yang melintasi detektor (BATAN, 2002). Namun, seiring dengan berjalannya waktu, pada bulan Januari 2023, nilai aktivitas yang terukur adalah 508,6 GBq pada tegangan 200 V dan 400 V mengalami penurunan rata-rata arus yang dihasilkan, yaitu 11,51 nA. Adanya *noise*, yang merupakan fluktuasi alami dari sumber radiasi dan juga merupakan sinyal gangguan yang terdeteksi oleh detektor, dapat memengaruhi proses pengukuran. Oleh karena itu, sinyal yang dihasilkan oleh detektor diteruskan melalui tegangan yang diatur oleh sistem. Tegangan ini akan mengubah sinyal menjadi bentuk yang dapat diukur. Tegangan tersebut mewakili informasi yang diperoleh dari sinyal detektor dan menghasilkan data berupa keluaran arus yang dapat diukur dengan akurat (Asriyani, 2003).

Hasil Pengukuran Aktivitas Radiasi Menggunakan Detektor *Well Type Chamber*

Hasil respon detektor *Well Type Chamber* untuk aktivitas sumber radiasi Ir-192 dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil kalibrasi pada detektor *Well Type Chamber* yang menangkap radiasi menghasilkan aktivitas atau kerma udara. Pengukuran dilakukan melalui uji kontrol dari komputer di mana proses brakiterapi dicatat arusnya per *step size* yang telah diatur pada *Software Orcentra*. Gambar 3 menunjukkan respons detektor terhadap aktivitas radiasi. Terlihat bahwa aktivitas radiasi pada bulan Januari, September dan Maret yang terukur lebih besar dibandingkan pada bulan berikutnya. Hal ini didasarkan pada perbedaan dalam aktivitas sumber, yaitu 499,8 GBq, 503,9 GBq, dan 508,6 GBq. Tingginya aktivitas pada sumber ini mengakibatkan laju kerma menjadi lebih tinggi

Tabel 2. Pengukuran keluaran sumber radiasi menggunakan detektor ionisasi *Well Type Chamber*

Pengukuran	Aktivitas Sumber	Tekanan		Suhu	Nilai rata-rata Arus (nA)	
	GBq	Ci	hPa	°C	200 Volt	400 Volt
Jan 2022	499,8	13,97	994	18,9	35,47	35,43
Feb 2022	499,8	13,97	994	18,8	25,40	25,42
Mar 2022	499,8	13,97	994	18,5	17,37	17,38
Sept 2022	503,9	13,97	994	19,7	38,50	38,52
Okt 2022	503,9	13,97	994	19,7	26,60	26,66
Nov 2022	503,9	13,97	994	19,7	21,59	21,58
Jan 2023	503,9	13,97	994	19,7	11,52	11,51
Mar 2023	508,6	13,74	994	20,0	44,06	44,11
Mei 2023	508,6	13,74	994	21,8	21,96	21,95



Gambar 3. Grafik respon detektor *Well Type Chamber* terhadap aktivitas radiasi

Tabel 3. Deviasi pengukuran antara TPS dan TCS

Pengukuran	Aktivitas R-Kerma (Ci)	TPS Oncestra	TPS Microselectron	Dev TPS	Dev TCS
Jan 2022	8,54	8,59	8,49	0,521%	-0,561%
Feb 2022	6,12	6,12	6,06	0,976%	-0,044%
Mar 2022	4,18	4,20	4,16	0,425%	-0,646%
Sept 2022	9,31	9,34	9,34	-0,375%	-0,375%
Okt 2022	6,43	6,41	6,41	0,208%	0,208%
Nov 2022	5,22	5,22	5,22	0,019%	0,019%
Jan 2023	2,78	2,80	2,77	0,470%	-0,662%
Mar 2023	10,66	10,66	10,64	0,190%	-0,019%
Mei 2023	5,34	5,28	5,27	1,184%	1,184%

Pengukuran menghasilkan laju kerma yang terukur dari hamburan radiasi akibat aktivitas sumber yang mengenai detektor. Pada bulan Januari tahun 2022, laju kerma udara adalah 8,54 ($\text{Gy s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$) dengan aktivitas 13,7 Ci dan semakin menurun pada bulan Februari dan Maret. Pengukuran selanjutnya dilakukan pada bulan September dengan aktivitas sumber yang berbeda dan semakin meningkat dari bulan Januari hingga Maret yaitu 503,9 GBq 13,7 Ci. Laju kerma yang terukur pada bulan September adalah sekitar 9,31 ($\text{Gy s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$) dan dilakukan pada bulan berikutnya dengan aktivitas yang sama sehingga laju kerma semakin menurun. Pada tahun 2023, aktivitas sumber pada bulan Maret 508,6 GBq dengan 13,4 Ci merupakan hasil laju kerma yang lebih besar dibandingkan dengan pengukuran pada tahun 2022, yaitu sekitar 10,66 ($\text{Gy s}^{-1} \text{Bq}^{-1} \text{m}^2$). Pengukuran yang dilakukan berturut-turut dapat menyebabkan aktivitas radiasi yang tertangkap oleh detektor mengalami penurunan.

Arus yang semakin rendah juga dapat menyebabkan aktivitas radiasi yang diukur oleh detektor semakin menurun. Penurunan aktivitas artinya sumber radiasi lebih banyak ditangkap oleh detektor namun lebih sedikit hamburan. Penurunan aktivitas seiring dengan berjalannya waktu juga disebabkan oleh peluruhan radioaktif dari isotop yang ada dalam sumber radiasi.

Detektor *Well Type Chamber* bekerja berdasarkan prinsip ionisasi, di mana partikel radiasi yang melintasi detektor, maka dapat menyebabkan ionisasi dalam medium detektor. Penurunan kuantitas partikel radiasi

terjadi karena penggunaan yang intensif dari partikel radiasi. Dampak dari penurunan ini adalah penurunan nilai arus yang diukur oleh detektor *Well Type Chamber*. Selain itu, penurunan aktivitas radiasi juga dapat disebabkan oleh faktor penuaan perangkat atau detektor itu sendiri, seperti perubahan fisik dalam medium yang dapat mengurangi efisiensi deteksi atau menghasilkan sinyal yang lebih lemah, sehingga menyebabkan penurunan aktivitas yang diukur.

Hasil Perbandingan TPS dan TCS Aktivitas Laju Kerma Yang Terukur

Treatment Planning System (TPS) dan *Treatment Control System* (TCS) merupakan dua komponen penting dalam perencanaan dan pengendalian perawatan radioterapi. TPS merupakan sebuah perangkat lunak khusus yang digunakan untuk merencanakan dan mengoptimalkan perawatan radioterapi. Sedangkan *Treatment Control System* (TCS) adalah suatu sistem yang digunakan untuk mengendalikan dan memantau proses pengiriman dalam radioterapi secara *real time* selama perawatan dilakukan.

Pada hal ini, TPS dan TCS bekerjasama dalam proses perencanaan brakiterapi dalam hal pengendalian proses akurasi dan keamanan radiasi serta memastikan dosis radiasi yang diinginkan sesuai dengan dosis radiasi yang direncanakan. Adapun hasil perbandingan TPS dan TCS terhadap aktivitas atau R-kerma dapat dilihat pada Tabel 2 menunjukkan rata-rata persentase antara TPS dan TCS dalam hal mengontrol aktivitas radiasi pada pengukuran menggunakan detektor *Well Type Chamber*. Standarisasi pada

pengukuran antara TPS dan TCS tidak mengalami perbedaan yang secara signifikan. Jika terdapat perbedaan antara standarisasi TPS dan TCS, hal ini diakibatkan bahwa dosis yang direncanakan mengalami perubahan dalam sistem kontrol yang secara *real time* pada saat perawatan. TPS dan TCS dapat menghasilkan nilai yang bervariasi tergantung pada konteks penggunaan dan konversi yang digunakan.

Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa, hasil perbandingan antara pengukuran yang dilihat dari TPS dan TCS tidak melebihi batas maksimum dalam pengukuran aktivitas yaitu 2%. Hal ini juga dapat dinyatakan pengukuran aktivitas sumber radiasi kerma udara menggunakan detektor *Well Type Chamber* telah dilaksanakan dengan baik dan sesuai prosedur yang berlaku.

KESIMPULAN

Verifikasi sumber pada brakiterapi menggunakan detektor dapat menghasilkan aktivitas radiasi yang semakin menurun. Jika aktivitas sumber tidak diganti, maka dapat menyebabkan performa selama pengobatan brakiterapi, menyebabkan aktivitas radiasi semakin rendah. Selain itu, semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka semakin kecil arus yang dihasilkan. Sebaliknya, jika tegangannya rendah, maka arus yang dihasilkan semakin besar. Nilai aktivitas atau R-kerma yang dihasilkan pada variasi tegangan berpengaruh pada sumber, waktu atau lama pemakaian dan performa alat. Nilai aktivitas yang terukur sesuai dengan peraturan BAPETEN 2006 dalam standarisasi kalibrasi sumber brakiterapi yang menggunakan sumber Iridium-192, yaitu 10 hingga 12 GBq. Selanjutnya, TPS dan TCS tidak melebihi batas maksimum dalam pengukuran aktivitas yaitu 2% sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan. Detektor *Well Type Chamber* mampu mendeteksi aktivitas radiasi dan R-kerma dalam perawatan brakiterapi.

SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya diharapkan agar kateter pada brakiterapi harus ditambahkan, karena pada penelitian ini hanya menggunakan satu kateter untuk

transfer sumber. Pengukuran aktivitas sumber juga dapat menggunakan jenis detektor lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Asriyani, I. (2003). *Analisis Kontras Pada Citra Dengan Metode Air Gap Dan Konvensional menggunakan Detektor Digital Imaging Plate*.
- BAPETEN. (2002). *BAPETEN's Chairman Decree Number 21/Ka-BAPETEN/XII-02 on Quality Assurance Program Installation Radiotherapy*.
- Baltas D, Sakelliou L, Zamboglou N. (2007). The physics of modern brachytherapy for oncology. *The Physics of Modern Brachytherapy for Oncology*. Published online
- Carlsson, Å. (2007). *Dosimetry audit on the accuracy of 192 Ir brachytherapy source strength determinations in Sweden*. www.ssi.se
- Firnando, F. A., Inang, S. S., Agassy, F. O., Fiqi, D., & Muhammad, A. J. K. (2019). *Kalibrasi In-Situ Detektor Ionisasi Well Type Untuk Ir-192 Di Rumah Sakit Universitas Andalas, Padang*.
- Handoko, A., Hidayanto, E., & Richardina, V. (2018). Analisis keakuratan verifikasi dosis dengan menggunakan perbandingan phantom standar dan phantom replika. In *Youngster Physics Journal* (Vol. 07, Issue 1).
- Hanlon, M. D., Smith, R. L., & Franich, R. D. (2022). MaxiCalc: A tool for online dosimetric evaluation of source-tracking based treatment verification in HDR brachytherapy. *Physica Medica*, 94, 58–64. <https://www.batan.go.id/ensiklopedi/08/01/02/03/08-01-02-03.html>
- Johansen, J. G., Rylander, S., Buus, S., Bentzen, L., Hokland, S. B., Søndergaard, C. S., With, A. K. M., Kertzscher, G., & Tanderup, K. (2018). Time-resolved in vivo dosimetry for source tracking in brachytherapy. *Brachytherapy*, 17(1), 122–132.

- Lessard, E., Hsu, I.-C., & Pouliot, J. (2002). Inverse planning for interstitial gynecologic template brachytherapy: truly anatomy-based planning. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*, 54(4), 1243–1251.
- Rajagukguk, N dan Firmansyah, A. (2019). *Komunikasi pribadi dengan fisikawan medis RS Murni Teguh Memorial Hospital, RSUD Moewardi, RSUD Sanglah, RS Bandung Kopo, RS Kanker Dharmas, RSUPN Dr. Cipto Mangunkusumo, RSUD Dr. Sardjito, RS Universitas Andalas dan RSUD Prof. DR Margono Soekarjo.*
- Ravichandran, R. (2019). A simple quality assurance method to check dwell times in high dose rate (HDR) remote after loading intracavitary applications. *International Journal of Radiology & Radiation Therapy*, 6(6), 210–216.
- Rio Putra, M., Milvita, D., & Prasetyo, H. (2015). Karakterisasi Dosimetri Sumber Brakiterapi Ir-192 Menggunakan Metode Absolut. *Jurnal Fisika Unand*, 4(2).
- Trijoko, S., & Firmansyah, A. F. (2019). Estimasi ketidakpastian pengukuran dosis sumber brakiterapi Iridium-192 yang dihasilkan reaktor penelitian. *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir 2019 Pontianak*.
- Viswanathan, A. N., Beriwal, S., De Los Santos, J. F., Demanes, D. J., Gaffney, D., Hansen, J., Jones, E., Kirisits, C., Thomadsen, B., & Erickson, B. (2012). American Brachytherapy Society consensus guidelines for locally advanced carcinoma of the cervix. Part II: High-dose-rate brachytherapy. *Brachytherapy*, 11(1), 47–52.
- Zaman, Z. K., Ung, N. M., Malik, R. A., Ho, G. F., Phua, V. C. E., Jamalludin, Z., Baharuldin, M. T. H., & Ng, K. H. (2014). Comparison of planned and measured rectal dose in-vivo during high dose rate Cobalt-60 brachytherapy of cervical cancer. *Physica Medica*, 30(8), 980–984.