



Penggunaan Dosimeter Film, OSL, Dioda, dan Ion Chamber dalam Verifikasi Dosis pada Teknik *Modulated Arc Therapy* (VMAT)

Felita Agri Pina^{1,*}, Friska Tsania Maulida¹, Kevin Aditya Setiawan¹, Erlinda Ratnasari Putri¹

¹Program Studi Fisika FMIPA Universitas Mulawarman
Jl. Barong Tongkok No. 4, Samarinda 70123, Kalimantan Timur, Indonesia

*E-mail korespondensi: felitaagripina@gmail.com

Article Info:

Received: 6-12-2024

Revised: 13-12-2024

Accepted: 16-12-2024

Keywords:

OSL, VMAT, diode, film, ion chamber.



Abstract

The Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) technique is an advanced radiotherapy method that allows more optimal radiation dose distribution in a shorter radiation time. Several types of dosimeters that are often used for this verification include film dosimeters, OSL (Optically Stimulated Luminescence), diodes, and ion chambers, each of which has advantages and disadvantages. This review was conducted to compare the use of various dosimeters in dose verification using the VMAT technique, with a focus on the advantages and disadvantages of each tool. This research is based on a literature study of 15 articles. The literature study was carried out for 2 months. The articles used were taken from 2020 to 2024. The results of this study show that although all types of dosimeters have advantages, selecting the right dosimeter is very dependent on the specific needs in dose verification on VMAT. The diode dosimeter, EBT3 Gafchromic film, OSL, and ion chamber in dose verification using the VMAT technique showed very good results but each had its own advantages. The diode demonstrated accuracy with a dose deviation of less than 1% and a gamma permittivity level above 98%, while the Gafchromic EBT3 film provided a gamma permittivity level of over 95%, with position errors not affecting the results if below ± 3 mm. The OSL shows high accuracy with a dose variation within the lower limit of about 3.34%, comparable to the results from the ionization chamber and film. In contrast, the ion chamber demonstrated very high accuracy with an average dose deviation of 0.6% and an MLC gamma pass rate of 43.5%, thus confirming the device in dose verification.

PENDAHULUAN

Dalam bidang fisika medis, teknik *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) telah muncul sebagai salah satu inovasi utama dalam penyampaian dosis radiasi. Metode ini memungkinkan distribusi dosis yang rumit dengan memodulasi intensitas radiasi, kecepatan rotasi gantry, serta bentuk medan radiasi selama satu atau lebih putaran dari gantry akselerator linier. Dengan efisiensi yang tinggi dan kemampuan menghasilkan distribusi dosis yang presisi, VMAT banyak dipakai dalam pengobatan kanker, terutama untuk tumor yang memiliki geometri kompleks. Namun, penggunaan VMAT memerlukan verifikasi dosis yang teliti untuk memastikan bahwa dosis radiasi sesuai dengan rencana perawatan dan mengurangi paparan pada jaringan sehat di sekitar tumor.

Berbagai dosimeter telah digunakan untuk menilai akurasi pengiriman dosis pada VMAT, seperti dioda, *ion chamber*, *Optically Stimulated Luminescence* (OSL), dan *film*. Setiap alat memiliki

karakteristik khusus yang menjadikannya andal untuk pengukuran dosimetri. Dioda memiliki sensitivitas tinggi dan respon yang cepat, sehingga sangat cocok untuk pengukuran langsung selama pengujian klinis. *Ion chamber* diakui sebagai standar emas dalam dosimetri karena kemampuannya memberikan pengukuran dosis absolut dengan tingkat akurasi yang tinggi. OSL memungkinkan pengukuran dosis yang fleksibel menggunakan sensor berukuran kecil, sementara *film* dosimetri menawarkan analisis distribusi dosis dua dimensi dengan resolusi spasial yang tinggi, yang sangat bermanfaat dalam validasi rencana radioterapi.

Review Article ini bertujuan untuk menilai dan membandingkan penggunaan dioda, *ion chamber*, OSL, dan *film* dosimetri dalam evaluasi dosimetri teknik VMAT berdasarkan literatur terbaru. Dengan ulasan ini diharapkan dapat memberikan wawasan berharga bagi fisikawan medis dalam memilih metode dan perangkat yang paling tepat untuk memastikan kualitas dan akurasi pengiriman dosis VMAT di lingkungan klinis.

Dioda

Dioda adalah komponen elektronik yang dapat mendeteksi dan mengukur aliran fluens atau dosis radiasi dengan presisi tinggi pada alat, seperti Delta4 Discover, yang memiliki 4040 dioda *p-type* dengan diameter area aktif 1 mm yang digunakan untuk memantau posisi Multi-Leaf Collimator (MLC) dan mengukur dosis selama fraksi perawatan di linac TrueBeam[1].

Pada Prasath, dkk.[2] dioda digunakan sebagai komponen elektronik yang berfungsi sebagai detektor kecil dengan kepekaan tinggi, digunakan untuk mengukur dosis radiasi pada bidang kecil atau sangat kecil dengan akurasi tinggi, seperti pada alat 3D Blue Phantom.

Dioda adalah komponen elektronik yang memungkinkan aliran arus listrik hanya dalam satu arah dan berfungsi sebagai saklar atau pengatur aliran arus. Namun, dalam konteks dosimetri medis dan jaminan kualitas radioterapi, yang dimaksud adalah dioda dosimeter, yaitu perangkat semikonduktor khusus yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur radiasi ionisasi. Dioda dosimeter sering digunakan dalam alat pengukuran dosis, seperti kamar ionisasi (*ionization chamber*), untuk memverifikasi efek dosis secara independen. Dalam penelitian yang menggunakan perangkat seperti ArcCHECK (AC) dan LINACWatch (LW) untuk menguji kualitas pengiriman VMAT, dioda atau detektor berbasis ionisasi ini berfungsi untuk mendeteksi dan mengukur dosis radiasi yang diterima oleh area tubuh pasien atau phantom yang diuji[3].

Ion Chamber

Ion chamber adalah alat pengukur dosis radiasi yang menggunakan volume udara atau gas lainnya untuk mendeteksi ionisasi yang dihasilkan oleh radiasi[4]. Pada *ion chamber* digunakan untuk mengukur radiasi pengion berdasarkan prinsip ionisasi gas[5]. Alat ini terdiri dari sebuah ruang yang terisi gas, seperti udara atau gas tertentu, yang berada di antara dua elektroda. Ketika radiasi melewati ruang tersebut, ia mengionisasi molekul gas, menghasilkan pasangan ion positif dan elektron[6]. Dalam audit dosimetri IMRT/VMAT yang dikembangkan oleh IAEA, *ion chamber* kecil ditempatkan pada empat lokasi di dalam phantom antropomorfik, dengan tiga lokasi berada dalam volume target perencanaan (PTV) dan satu di organ yang berisiko (OAR) [5].

Dalam konteks *Total Body Irradiation* (TBI) seperti yang dijelaskan dalam jurnal, *ion chamber* digunakan untuk melakukan pengukuran dosis radiasi selama perencanaan dan validasi dosis, termasuk untuk verifikasi pra-perawatan. Alat ini penting karena memberikan data dosis dengan akurasi tinggi dan dapat digunakan dalam berbagai kondisi pengukuran, seperti dalam pengaturan klinis untuk memastikan distribusi dosis yang sesuai pada target volume dan organ vital (*organ at risk/OAR*)[3].

Optically Stimulated Luminescence (OSL)

Optically Stimulated Luminescence (OSL) merupakan teknik dosimetri yang memanfaatkan luminesensi yang muncul akibat stimulasi optik terhadap muatan yang terperangkap di dalam bahan detektor sebagai dampak dari paparan radiasi pengion[7]. Intensitas luminesensi yang

dihasilkan berbanding lurus dengan dosis radiasi yang diserap oleh material detektor, umumnya dibuat dari bahan seperti fosfor anorganik (Al_2O_3 , BeO , atau MgB_4O_7)[8].

OSL (*Optically Stimulated Luminescence*) adalah salah satu metode pengukuran yang digunakan dalam prosedur jaminan kualitas radioterapi (RTQA). OSL bekerja dengan memanfaatkan material luminesen yang dapat menyimpan energi dari radiasi dan melepaskannya kembali dalam bentuk cahaya ketika dirangsang secara optik. Metode ini sering digunakan dalam pengukuran dosis radiasi untuk memvalidasi dosis yang dihitung oleh sistem perencanaan radioterapi (*Treatment Planning System*, TPS)[9].

Pada Ana María Cardona, dkk.[10] OSL adalah perangkat dosimetri yang digunakan untuk mengukur paparan radiasi dengan memanfaatkan bahan luminesen, seperti aluminium oksida (Al_2O_3), yang mampu menyimpan energi radiasi. Energi yang tersimpan ini dilepaskan dalam bentuk cahaya ketika bahan tersebut dirangsang oleh cahaya dengan panjang gelombang tertentu.

Film

Film dosimetri adalah alat yang digunakan untuk mengukur distribusi dosis radiasi dengan resolusi spasial yang tinggi, terutama dalam teknik radioterapi yang kompleks seperti *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT). Jenis *film* ini, seperti radiochromic *film* EBT3, dapat merekam perubahan warna akibat paparan radiasi, di mana intensitas perubahan warna tersebut sebanding dengan dosis yang diterima, tanpa memerlukan pemrosesan kimia[11].

Film merupakan alat dosimetri berbentuk lembaran tipis yang digunakan untuk merekam dan mengukur distribusi dosis radiasi. *Film* ini bekerja dengan cara menyimpan informasi dosis radiasi yang diterima melalui perubahan sifat fisik atau kimia, seperti perubahan warna pada *film* radiokromik[12].

Film menawarkan akurasi dosis yang baik dan resolusi superior, mendekati kesetaraan air, keseragaman yang sangat baik, ketergantungan energi minimal dan penggunaannya mudah diintegrasikan oleh sebagian besar hantu. *Film* dianggap sebagai standar emas untuk dosimetri resolusi tinggi tetapi dihindari untuk QA spesifik pasien demi proses yang lebih cepat dan lebih cepat alternatif yang lebih nyaman. Dimasukkannya prediksi gambar dosis portal Varian (PDIP) dengan pasien QA spesifik telah banyak digunakan untuk teknik seperti radioterapi modulasi intensitas (IMRT) dan terapi busur termodulasi volumetrik (VMAT) untuk pertemuan tunggal[12].

METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini didasarkan pada studi literatur yang melibatkan peninjauan sebanyak 15 artikel ilmiah. Studi literatur dilakukan selama 2 bulan, dimulai dari proses identifikasi artikel. Artikel yang *direview* dipilih secara manual dari basis data ilmiah seperti Google Scholar dengan topik terkait penggunaan dosimeter *film*, OSL, dioda, dan *ion chamber* untuk verifikasi dosis pada teknik *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT), tahun publikasi antara 2020 hingga 2024. Sebanyak 15 artikel dipilih berdasarkan keterbaruan, dan kualitasnya untuk mendukung analisis penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. berikut ini adalah ringkasan perbandingan berbagai penelitian yang membahas penggunaan jenis-jenis dosimeter dalam proses verifikasi dosis pada teknik *Modulated Arc Therapy* (VMAT). Tabel 1. menyajikan informasi penting, seperti jenis dosimeter yang digunakan, metode yang diterapkan, dan hasil yang dicapai dari setiap penelitian.

Tabel 1. Perbandingan Penggunaan Berbagai Dosimeter dalam Verifikasi Dosis pada Teknik VMAT

Author	Dosimeter	Metode	Hasil
Radici, dkk. (2024)	Dioda	Evaluasi 43 rencana VMAT dengan TrueBeam dan Delta4, menggunakan analisis Dose- γ , MLC- γ , LD, MCSv, LT, dan kecepatan leaf via skrip Matlab.	Dose- γ $\geq 95\%$, MLC- γ 100% ($\geq 62\%$), deviasi daun kolimator <1 mm: 37-92%.
Sriram Prasath, dkk. (2020)	Dioda	Validasi VMAT menggunakan sinar 6 MV FF dan FFF dengan algoritma AAA dan AXB di Eclipse V.15.1. MD TPS vs pengukuran.	PDD & output <1% & 0,5%; TG 119, PD (Percentage Difference) <0,9%; TG 244, PD 0,3%-1,4% (rata-rata 0,8%); E2E (End-to-End verification) <0,08%.
Yongqiang Zhou, dkk. (2020)	Film	Evaluasi posisi VMAT CSI ($\pm 1-8$ mm) dengan ArcCHECK dan film EBT3 pada 20 pasien.	%GPs: ± 3 mm (95%), ± 5 mm (90%), ± 8 mm (85%); dampak minimal pada ± 3 mm.
Stefano Piffer, dkk. (2021)	Dioda	Lima puluh rencana VMAT dihitung menggunakan SciMoCa dan TPS, divalidasi dengan detektor dioda 3D (ArcCHECK) dan analisis gamma 3D (3%-2 mm).	SciMoCa $0,7 \pm 1,7\%$, TPS $-0,2 \pm 1,6\%$. GPR: SciMoCa $98,0 \pm 3,0\%$, TPS $99,0 \pm 3,0\%$ ($\geq 95\%$).
Pradip Kumar, dkk. (2021)	OSL	Audit dosis pada terapi radiasi (IMRT, VMAT) menggunakan dosimeter disc OSL $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$, film Gafchromic EBT3, dan chamber ionisasi pada sinar foton 6 MV dan elektron 6/15 MeV.	detektor disk OSL 0,15%-4,6%, film EBT3 0,40%-5,45%; pada teknik konformal: detektor disk OSL 0,1%-4,9%, film EBT3 0,3%-5,0%.
Pradip Kumar, dkk. (2020)	OSL	Disk OSL (5 mm) diuji untuk verifikasi dosis VMAT dengan membandingkan hasil OSL, ion chamber, film Gafchromic, dan dosis TPS. Ketidakpastian pengukuran 3,34%.	Dosis yang dihitung oleh Eclipse TPS dan diukur dengan ion chamber, EBT3 film, dan disk OSL menunjukkan variasi dosis antara 0,2% hingga 6,3%.
Pavel Kazantsev, dkk. (2020)	Ion Chamber/Film	Audit dosis VMAT dilakukan menggunakan phantom antropomorfik, ion chamber, dan film	Dari 42 rencana, 79% memiliki skor kualitas >90, rasio dosis IC untuk PTV $0,988 \pm 0,016$ dan OAR 1,020

		Gafchromic untuk verifikasi dosis dan perbandingan dengan TPS.	$\pm 0,029$, dengan tingkat kelulusan gamma <i>film</i> rata-rata 94,1%.
Jihun Kim, dkk. (2020)	<i>Ion Chamber</i>	Mobius3D dioptimalkan dengan faktor koreksi celah daun (DLG) untuk 13 rencana VMAT, menguji akurasi modelisasi MLC dan bidang off-axis terbuka dengan pengukuran dosis menggunakan MapCHECK dan <i>chamber ionisasi</i> .	Perbedaan output factor $\leq 1,7\%$, laju gamma mencapai 99,9% (3%/3 mm) setelah optimasi DLG, kesalahan dosis titik turun dari -1,9% menjadi 0,6%
Vishwadeep Mishra, dkk. (2023)	OSL	Sepuluh pasien kanker esofagus tengah direncanakan ulang dengan VMAT (2 arc) dan IMRT (7-9 fields), membandingkan DVH PTV, jantung, substruktur jantung, dan LAD; analisis dilakukan dengan paired t-test ($P < 0.05$).	D99% PTV: 45,22 Gy (VMAT) vs. 46,39 Gy (IMRT), D95% PTV: 46,61 Gy (VMAT) vs. 48,27 Gy (IMRT), Dmax PTV: 52,26 Gy (VMAT) vs. 52,79 Gy (IMRT). V5 jantung: 93,93% (VMAT) vs. 85,11% (IMRT), V10 jantung: 82,25% (VMAT) vs. 76,56% (IMRT), V20 jantung: 34,94% (VMAT) vs. 47,35% (IMRT). V20 LAD: 2,33% (VMAT) vs. 5,73% (IMRT).
Sarah M Kelly, dkk. (2023)	<i>Ion Chamber</i>	Analisis gamma menggunakan kriteria perbedaan dosis 3% dan jarak kesesuaian 3 mm, serta pengukuran tambahan dengan fantom fisik untuk memastikan akurasi dosis sesuai protokol klinis.	Gamma passing rate untuk analisis 3%/3mm adalah 95% (VPP) dan $95\% \pm 3-5\%$ (BOA). Tingkat penolakan awal rencana: 39,8% untuk semua ICR dengan rata-rata waktu penerimaan rencana adalah 6 hari. Rata-rata pengajuan hingga diterima adalah 1,4 kali.
Vasiliki Peppas, dkk. (2024)	<i>Film</i>	Iradiasi Kraniospinal (CSI) yang dilakukan dengan VMAT bergantung pada rangkaian busur dari iso center yang berbeda	Hasil dosimetri menunjukkan bahwa teknik staggered overlap memiliki akurasi dosimetri lebih tinggi dibandingkan teknik konvensional, dengan gamma passing rate lebih dari 95% untuk kriteria 3%/3 mm dan perbedaan median dosis hingga 2,6%

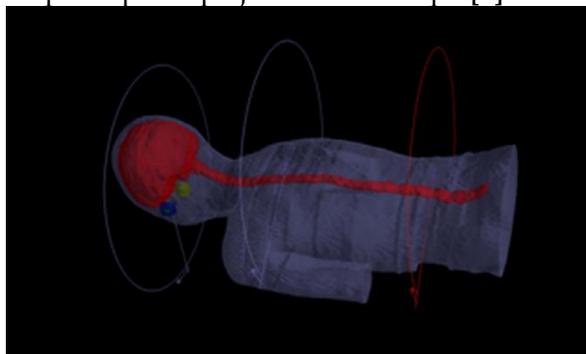
Philipp Szevenski, dkk. (2020)	Dioda	Pengukuran dilakukan dengan linac Elektra Synergy yang dilengkapi dengan kepala Agility. Posisi diukur secara optik. Denah VMAT dengan energi Foton 6 MV digunakan dalam penelitian ini	Deviasi dosis titik: $13,2\% \pm 42,4\%$ (AC) dan $59,0\% \pm 100\%$ (LW). Gamma passing rate (2%/2mm): $49,6\%$ (AC) dan $73,9\%$ (LW).
Reena Kumari, dkk. (2023)	Film <i>Gafchromic</i> dan <i>Ionisasi Chamber</i>	Penerapan teknik <i>Volumetric Modulated Arc Therapy</i> (VMAT) untuk <i>Total Body Irradiation</i> (TBI). Penelitian ini mengevaluasi kelayakan penerapan VMAT TBI pada linac Elekta Versa HD	Gamma passing rate (3%/3mm): $97,2\%$ (Eclipse) dan $97,6\%$ (Monaco). Homogeneity Index (HI): $0,22 \pm 0,03$ (Eclipse) dan $0,18 \pm 0,03$ (Monaco). Monitor Units: $2082,3 \pm 473,9$ (Eclipse) dan $6681,4 \pm 1210,2$ (Monaco).
Reena Kumari, dkk. (2023)	Film	Studi phantom dengan detektor <i>Gafchromic</i> , dioda silikon, dan chamber ionisasi 0,6 cc untuk mengukur dosis permukaan dan bidang tengah pada <i>isocenter</i> pada terapi VMAT	Perbedaan dosis permukaan <i>Gafchromic</i> 0,044–0,204 cGy, dioda 0–0,112 cGy, dan dosis titik pada <i>isocenter</i> dalam 3% dari TPS.
Ana María Cardona, dkk. (2023)	OSL/TLD	Dosis kulit payudara diukur dengan TLD dan OSLD pada phantom dengan teknik FIF dan VMAT, menggunakan dosis 4300, 4600, dan 5600 cGy dalam 20 fraksi, serta pengukuran <i>in vivo</i> pada berbagai ukuran payudara.	Dosis kulit rata-rata pasien: 171 ± 10 cGy per fraksi, dengan variasi kecil tergantung pada ukuran payudara.



Gambar 1. Delta4 Discover dipasang pada Varian Truebeam Linac

Berdasarkan Gambar 1. Delta4 Discover adalah alat pengukur *fluence* yang dirancang untuk memantau dosis dan posisi MLC selama setiap sesi perawatan. Alat ini terdiri dari 4040 detektor

dioda tipe p, masing-masing dengan area aktif berdiameter 1 mm dan dipisahkan sejauh 2,5 mm sejajar arah gerakan MLC dan 5 mm tegak lurus terhadap arah tersebut di isosenter. Array dioda ini mampu mengukur ukuran bidang maksimum $25 \times 19,5 \text{ cm}^2$ saat diproyeksikan ke level isosenter. Alat ini mudah dipasang pada kepala mesin TrueBeam Linac (Varian, perusahaan Siemens Healthineers, Palo Alto, CA, USA), yang menjulur sejauh 2,3 cm dari kolimator. Pembacaan dioda diambil setiap $150 \mu\text{s}$ tanpa jeda antar sampel[1].



Gambar 2. Volume target perencanaan dan pengaturan balok yang khas untuk iradiasi kraniospinal dengan terapi busur termodulasi volumetrik

Berdasarkan Gambar 2. menunjukkan pengaturan volume target perencanaan dan pengaturan balok khas untuk iradiasi kraniospinal menggunakan terapi busur termodulasi volumetrik (VMAT). Dalam penelitian ini, pengukuran dosimetri di daerah tumpang tindih antara kranial/atas-spinal dan atas/bawah-spinal dilakukan dengan menggeser meja pasien sejauh 13 cm untuk mempertimbangkan *isocenter* kranial dan atas-spinal. File RTplan, RTstructures, dan RTdose diekspor dari sistem perencanaan terapi (TPS) ke program 3DVH, dan file ArcCHECK movie (ACML) yang dihasilkan oleh perangkat lunak SNC Patient digunakan untuk analisis perbedaan dosimetri 3D[11].



Gambar 3. pembaca OSL myOSLchip (milik Stefan Schischke, RadPro)

Berdasarkan Gambar 3. menunjukkan pembaca OSL myOSLchip (milik Stefan Schischke, RadPro). Pembaca ini mendukung stimulasi infra merah, hijau, dan biru dalam mode CW-OSL, POSL, dan LM-OSL. Filter optik pada alat ini dapat diganti secara otomatis antara berbagai jenis pengukuran. Pengukuran waktu-terkorelasi dan pengukuran waktu hidup (lifetime) dapat dilakukan menggunakan teknik *Time-Correlated Single Photon Counting*. Selain itu, alat ini dapat dikonfigurasi dengan berbagai lampiran untuk aplikasi lebih lanjut dan karakterisasi material[8].



Gambar 4. Proyeksi anterior dan lateral dari hantu SHANE dan beberapa struktur yang digambarkan: (a) tampak samping dan (b) tampak depan

Berdasarkan Gambar 4. menunjukkan paket yang dikembangkan untuk audit IMRT/VMAT *end-to-end* di lokasi mencakup phantom SHANE, set gambar CT DICOM, set struktur RT DICOM terkait, daftar tujuan dan batasan perencanaan, deskripsi metodologi audit yang rinci, petunjuk langkah demi langkah untuk auditor dan institusi yang diaudit, formulir pelaporan data, serta data referensi untuk parameter yang diuji[4].

Penggunaan dosimeter dioda dalam verifikasi dosis pada VMAT ditemukan dalam beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh Radici, dkk.[1], Sriram Prasath, dkk.[2], dan Stefano Piffer, dkk.[6]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosimetri dengan dioda memiliki ketepatan yang sangat baik, terutama dalam pengukuran dosis dan distribusi dosis. Radici, dkk. menemukan bahwa passing rate Dose- γ sangat berkorelasi dengan parameter lain seperti LTMCS dan MLC- γ , menunjukkan akurasi yang kuat dalam verifikasi dosis. Sriram Prasath, dkk. melaporkan bahwa deviasi dosis antara TPS dan pengukuran dioda sangat kecil (kurang dari 1%), dengan perbedaan PD pada TG 119 kurang dari 0,9%. Stefano Piffer, dkk. juga menunjukkan hasil yang sangat baik, dengan gamma passing rate di atas 98% untuk perhitungan dosis dengan dioda, menunjukkan kesesuaian yang sangat baik antara SciMoCa dan TPS.

Film, khususnya Gafchromic EBT3, digunakan dalam penelitian seperti yang dilakukan oleh Yongqiang Zhou, dkk.[11] dan Vasiliki Peppas, dkk.[13]. *Film* digunakan untuk mengukur kesalahan posisi dan validasi dosis pada teknik VMAT. Yongqiang Zhou, dkk. melaporkan bahwa kesalahan posisi pada pengukuran dengan *film* EBT3 tidak terlalu mempengaruhi hasil VMAT CSI selama kesalahan posisi berada di bawah ± 3 mm. Sementara itu, Vasiliki Peppas, dkk.[13] menunjukkan bahwa penggunaan teknik staggered overlap dengan *film* menghasilkan gamma passing rate lebih dari 95%, memberikan keunggulan dalam akurasi dosis dibandingkan dengan teknik konvensional.

Pada penelitian yang menggunakan OSL (*Optically Stimulated Luminescence*), hasil menunjukkan bahwa OSL memberikan hasil yang cukup akurat dalam pengukuran dosis pada teknik VMAT. Pradip Kumar, dkk.[8] melaporkan bahwa penggunaan OSL *disk* untuk verifikasi dosis pada VMAT memberikan hasil yang sangat sebanding dengan chamber ionisasi dan film Gafchromic EBT3, dengan variasi dosis dalam batas ketidakpastian 3,34%. Ini menunjukkan bahwa OSL memiliki ketepatan yang tinggi dalam verifikasi dosis, dengan potensi besar untuk aplikasi lebih lanjut di masa depan.

Ion chamber, seperti yang digunakan dalam penelitian oleh Pavel Kazantsev, dkk.[4] dan Jihun Kim, dkk.[5] juga digunakan untuk verifikasi dosis pada VMAT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *ion chamber* memberikan hasil yang sangat akurat dalam pengukuran dosis, baik pada phantom antropomorfik maupun pada organ dan volume terkait. Pavel Kazantsev, dkk. melaporkan rasio dosis untuk PTV dan OAR sangat mendekati 1 ($0,988 \pm 0,016$ dan $1,020 \pm 0,029$), yang menunjukkan akurasi tinggi. Jihun Kim, dkk.[5] juga menunjukkan deviasi dosis rata-rata yang sangat kecil (0,6%) dengan gamma pass rate MLC 43,5%, mengindikasikan keandalan *ion chamber* dalam verifikasi dosis.

Dari *review* jurnal ini bisa memberikan topik terkini yaitu "Perbandingan Efektivitas Berbagai Dosimeter dalam Verifikasi Dosis pada Terapi Radiasi VMAT Menggunakan Sistem Linac Terkini". Topik ini membahas keunggulan setiap dosimeter, seperti akurasi tinggi pada dioda, sensitivitas pada OSL, kemampuan memvalidasi posisi dengan *film* Gafchromic, dan

keandalan *chamber ionisasi*. Namun, ada beberapa masalah yang ditemukan, seperti konsistensi hasil antara dosimeter dengan sistem Linac modern, khususnya perubahan parameter teknis seperti kecepatan modulasi dosis atau dosis rendah.

KESIMPULAN

Dioda, *ion chamber*, OSL (*Optically Stimulated Luminescence*), dan *film* masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya. Dioda cepat dan mudah digunakan untuk pengukuran dosis sinar-X, tetapi kurang akurat pada dosis tinggi dan sensitif terhadap perubahan lingkungan. *Ion chamber* lebih akurat dan stabil dalam mengukur dosis tinggi, namun lebih besar, lebih mahal, dan membutuhkan kalibrasi yang lebih teliti. OSL, seperti myOSLchip, menawarkan akurasi tinggi dan ketidakpastian rendah, sangat berguna untuk dosis rendah, namun memerlukan peralatan khusus untuk pembacaannya. Sementara itu, *film* seperti Gafchromic EBT3 sangat baik untuk memetakan distribusi dosis secara dua dimensi, meskipun membutuhkan waktu dan prosedur analisis yang lebih rumit. Masing-masing alat ini cocok untuk kebutuhan berbeda dalam dosimetri, tergantung pada jenis pengukuran dan akurasi yang dibutuhkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan selama penulisan dan review jurnal ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Ibu Erlinda Ratnasari Putri, S.Si, M.Si. yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berguna. Dukungan dan bantuan dari Fakultas serta dosen-dosen sangat membantu dalam menyelesaikan review ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Radici et al., "Impact of beam complexity on plan delivery accuracy verification of a," *Physica Medica*, vol. 122, no. 10, pp. 1-9, 2024, doi: 10.1016/j.ejmp.2024.103387.
- [2] S. Prasath and P.R. Babu, "Dosimetric Validation of Treatment Planning System for Volumetric Modulated Arc Therapy Using AAPM Medical Physics Practice Guideline 5.b," *Research Article*, vol. 25, no. 5, pp. 1715-1723, 2024, doi: 10.31557/APJCP.2024.25.5.1715.
- [3] P. Szeverinski et al., "Error sensitivity of a log file analysis tool compared with a helical diode array dosimeter for VMAT delivery quality assurance," *RADIATION ONCOLOGY PHYSICS*, vol. 21, no. 11, pp. 163-171, 2020, doi: 10.1002/acm1.13051.
- [4] P. Kazantsev et al., "IAEA methodology for on-site end-to-end IMRT/VMAT audits: an international pilot study," *Acta Oncologica*, vol. 59, no. 2, pp. 141-148, 2020, doi: 10.1080/0284186X.2019.1685128.
- [5] A. M. Cardona et al., "Experimental determination of breast skin dose using volumetric modulated arc therapy and field-in-field treatment techniques," *Journal of Radiotherapy in*, vol. 1, no. 1, pp. 1-9, 2022, doi: 10.1017/S1460396922000292.
- [6] S. Piffer et al., "Validation of a secondary dose check tool against Monte Carlo and analytical clinical dose calculation algorithms in VMAT," *RADIATION ONCOLOGY PHYSICS*, vol. 22, no. 4, pp. 52-62, 2021, doi:10.1002/acm2.13209.

- [7] J. Kim et al., "Detailed evaluation of mobius3D dose calculation accuracy for volumetric-modulated arc therapy," *Physica Medica*, vol. 74, no. 10, pp. 125-132, 2020, doi: 10.1016/j.ejmp.2020.05.015.
- [8] P. Kumar et al., "Multi-institutional dose audit in radiotherapy facilities using in-house developed optically stimulated luminescence disc dosimeters," *Original Article*, vol. 19, no. 1, pp. 361-169, 2023, doi: 10.4103/jcrt.jcrt_753_21.
- [9] P. Kumar et al., "PATIENT-SPECIFIC DOSIMETRY USING IN-HOUSE DEVELOPED OSL DISC DOSEMETERS," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 1, no. 1, pp. 1-9, 2020, doi: 10.1093/rpd/ncaa023.
- [10] S. M. Kelly et al., "Radiotherapy quality assurance in paediatric clinical trials: first report from six QUARTET-affiliated trials," *Original Article*, vol. 183, no. 1, pp. 1-8, 2023, doi: 10.1016/j.radonc.2023.109549.
- [11] Y. Zhou et al., "Impact of setup errors on multi-isocenter volumetric modulated arc therapy for craniospinal irradiation," *RADIATION ONCOLOGY PHYSICS*, vol. 21, no. 11, pp. 115-123, 2020, doi: 10.1002/acm2.13044.
- [12] R. Kumari et al., "Multi-Detector in Vivo Dosimetry of Volumetric Arcs of Total Body Irradiation: An Institutional Comparative Study," *Journal Of Medicinal and Chemical Sciences*, vol. 6, no. 12, pp. 2964-2973, 2023, doi: 10.26655/JMCHEMSCI.2023.12.11.
- [13] V. Mishra et al., "The retrospective observational study compares dosimetry of Heart and Left Anterior Descending Artery Exposure in Carcinoma Esophagus Patients: Volumetric Arc Therapy vs. Intensity- Modulated Radiotherapy," *Original Article*, vol. 6, no. 17, pp. 1-9, 2023.
- [14] V. Peppia et al., "Dose delivery uncertainties assessment in the field junction region of craniospinal irradiation with Volumetric Modulated Arc Therapy using a robustness index and experimental dose verification," *PLOS ONE*, vol. 19, no. 11, pp. 1-25, 2024, doi: 10.1371/journal.pone.0313260.
- [15] R. Kumari et al., "Comparison of Different Dosimetric Indices for Volumetric Arc Modulated Treatment Planning Using Two Different Treatment Planning Systems: A Feasibility Study for Total Body Irradiation," *Research Article*, vol. 8, no. 3, pp. 483-489, 2023, doi: 10.31557/APJCC.2023.8.3.483.