

## PENENTUAN LAJU DOSIS SERAP AIR PADA LAPANGAN ACUAN SPESIFIK MESIN DARI PESAWAT TOMOTERAPI HI ART MENGGUNAKAN TIGA TIPE DETEKTOR IONISASI

Assef Firnando Firmansyah dan Sri Inang Sunaryati

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN, Jalan Lebak Bulus Raya No. 49 Jakarta Selatan  
e-mail: firnando3154@gmail.com

### ABSTRAK

**PENENTUAN LAJU DOSIS SERAP AIR PADA LAPANGAN ACUAN SPESIFIK MESIN DARI PESAWAT TOMOTERAPI HI ART MENGGUNAKAN TIGA TIPE DETEKTOR IONISASI.** Makalah ini menguraikan penentuan laju dosis serap air pada lapangan radiasi acuan spesifik mesin dari pesawat helikal tomoterapi Hi Art menggunakan tiga buah detektor ionisasi dengan volume yang berbeda masing-masing detektor Exradin AISL volume 0,056 cc, TW 30013 volume 0,56 cc dan PinPoint 3D 31016 volume 0,016 cc. Pengukuran persentase dosis di kedalaman dilakukan menggunakan dosimeter tomoterapi di dalam fantom air pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 85 cm dan lapangan radiasi 5 cm x 10 cm, sedangkan pengukuran luaran dilakukan pada kedalaman 10 cm dengan kondisi yang sama dengan pengukuran persentase dosis di kedalaman. Untuk menentukan laju dosis serap air digunakan persamaan yang direkomendasikan oleh IAEA/AAPM yang terdapat pada publikasi AAPM TG 148. Hasil yang diperoleh menunjukkan laju dosis serap air pada lapangan radiasi acuan spesifik mesin mendapatkan kesesuaian yang cukup baik dengan deviasi lebih kecil dari  $\pm 0,6\%$ .

**Kata kunci :** laju dosis serap air, lapangan radiasi acuan spesifik mesin, pesawat tomoterapi Hi Art dan detektor ionisasi

### ABSTRACT

**DETERMINATION OF THE ABSORBED DOSE RATES TO WATER FOR THE MACHINE SPECIFIC REFERENCE FIELD FROM THE HI ART TOMOTHERAPY UNIT USING THREE DIFFERENT CHAMBERS.** This paper describes the determination of the absorbed dose to water for the machine specific reference field from a helical tomotherapy Hi Art machine using three ionization chambers with different volume sizes, each an A 1 SL Exradin volume of 0.056 cc, a TW 30013 volume of 0.56 cc and a Pinpoint 3 D 31016 volume of 0.016 cc. The measurement of the percentage depth dose has been carried out at the source to the detector distance of 85 cm and a field size of 5 cm x 10 cm. Measurement of the absorbed dose rates to water has been done at the same condition with the measurement of percentage depth dose at the depth of 10 cm. The calculation were based on the IAEA/AAPM recommendation at the AAPM TG 148 publication. The result obtained show that the absorbed dose to water rate for the machine specific reference field of the helical tomotherapy Hi Art were in a good agreement within  $\pm 0.6\%$ .

**Keywords :** absorbed dose rate to water, machine specific reference field ,helical tomo therapy Hi Art and ionization chamber

### PENDAHULUAN

Di Indonesia perkembangan penggunaan teknologi di bidang kesehatan khususnya radioterapi sangat pesat. Diawali dengan penggunaan teknologi untuk penatalaksanaan *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) dari pesawat pemercepat linier medik Elekta Synergy S dilanjutkan dengan Volumetric Modulation Arc Therapy (VMAT) dari pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy [1-3]

Pada tahun 2016 Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangun kusumo, Jakarta memasang sebuah pesawat helikal tomoterapi Hi Art dengan sumber radiasi berkas foton 6 MV yang dipancarkan dari pesawat pemercepat linier medik. Modalitas dengan pesawat tomoterapi ini merupakan hal yang baru dan pertama di Indonesia. Pesawat helikal tomoterapi Hi Art

dapat dilihat pada Gambar 1. Istilah helikal digunakan untuk menunjukkan bahwa gantri dan meja pasien bergerak selama penyinaran pasien berlangsung, sementara itu pesawat pemercepat linier medik konvensional yang bergerak hanya gantri sedangkan meja pasien pada posisi tetap. Dengan penggunaan pesawat helikal tomoterapi ini maka radiasi yang diterima pasien adalah *slice per slice* (tomo) dan berbentuk spiral.

Pesawat helikal tomoterapi ini dikembangkan oleh Professor Thomas Rockwell Mackie, Ph D dan pertama kali digunakan untuk penyinaran pasien pada tahun 2002 di Universitas Wisconsin. Pesawat ini mempunyai kemampuan untuk berputar 360° selama penyinaran berlangsung [4].

Perkembangan dan penggunaan dari pesawat tomoterapi merupakan tantangan baru bagi fisikawan medis karena pesawat ini harus diukur luaran dosisnya sebagaimana halnya dengan pesawat pemercepat linier medik konvensional. Saat ini untuk menentukan laju dosis serap air pesawat teleterapi, Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder PTKMR-BATAN menggunakan prosedur operasi standar yang diadopsi dari publikasi IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398 dengan judul Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: an International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water [5].

Sudah tentu protokol tersebut di atas tidak bisa digunakan langsung untuk menentukan laju dosis serap air pesawat tomoterapi Hi Art ini, karena faktor koreksi kualitas berkas radiasi dari detektor yang terdapat dalam TRS no. 398 ditentukan dengan program Monte Carlo pada kondisi acuan (*reference condition*). Kondisi acuan ini tidak dapat diperoleh oleh sebuah pesawat tomoterapi [6].

Makalah ini menguraikan penentuan laju dosis serap air dari pesawat helikal tomo terapi Hi Art yang dilakukan di Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangun kusumo, Jakarta.



Gambar 1. Pesawat Tomoterapi Hi Art

## TEORI

### Penentuan laju dosis serap air Berkas Foton Pesawat Tomoterapi

Laju dosis serap air berkas foton dari sebuah pesawat pemercepat linier medik dengan kualitas radiasi  $Q$  dapat ditentukan dengan pengukuran menggunakan detektor ionisasi yang dikalibrasi dalam besaran dosis serap air untuk berkas sinar gamma Co-60  $N_{D,w}$  menggunakan persamaan berikut ini [5].

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w} \cdot k_Q \quad (1)$$

dengan

$D_{w,Q}$  : dosis serap berkas foton dengan kualitas radiasi  $Q$  (mGy)

$M_Q$  : bacaan dosimeter terkoreksi terhadap temperatur, tekanan udara, polaritas,  $k_{pol}$  dan rekombinasi ion,  $k_s$  (nC)  
 $N_{D,w}$  : faktor kalibrasi detektor untuk berkas sinar gamma Co-60 (mGy/nC)  
 $k_Q$  : faktor koreksi kualitas radiasi berkas foton dari detektor

Nilai  $k_Q$  pada Persamaan 1 tersebut di atas ditentukan berdasarkan pada perhitungan menggunakan program Monte Carlo untuk kondisi jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm. Sudah tentu nilai  $k_Q$  tersebut di atas tidak dapat langsung digunakan, karena kondisi tersebut tidak dapat dipenuhi oleh pesawat helikal tomoterapi yang jarak sumber ke permukaan airnya adalah 85 cm dengan lapangan radiasi 5 cm x 10 cm atau 5 cm x 40 cm. disamping itu ruang gerak meja pasien dari isosenter maksimum hanya 28 cm, dengan demikian PDD yang diperoleh kurang akurat karena kurang memadainya bahan fantom yang menyebabkan hamburan balik. Hal lain adalah tidak digunakannya filter perata (*flattening filter*) pada pesawat tomoterapi yang akan menyebabkan PDD sedikit berbeda.

Mengatasi permasalahan di atas, IAEA dan AAPM mengusulkan persamaan untuk penentuan laju dosis serap air pesawat tomoterapi helikal untuk berkas statis pada kondisi spesifik. Medan radiasi ini disebut sebagai machine specific reference. Medan radiasi pada machine specific reference (msr) adalah medan yang yang diperleh ketika pesawat tidak berputar yang menggunakan kondisi acuan yang dapat diperoleh oleh pesawat tomo terapi, sebagai contoh : lapangan radiasi 5 x 10 cm pada jarak sumber radiasi ke permukaan air, SSD 85 cm 6,7. Dengan demikian untuk pesawat tomoterapi helikal, maka Persamaan 1 menjadi [8] :

$$D_{w,Q_{msr}}^{f_{msr}} = M_{Q_{msr}}^{f_{msr}} \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \cdot k_{Q_{msr},Q}^{f_{msr}f_{msr}} \quad (2)$$

dengan

$Q$  : kualitas berkas radiasi [% dd (10)x] dari medan radiasi acuan konvensional 10 cm x 10 cm pada jarak sumber radiasi ke permukaan, SSD 100 cm sesuai dengan TG - 51  
 $Q_{msr}$  : kualitas berkas radiasi [% dd (10)x] dari medan radiasi *machine specific reference*  $f_{msr}$  (5 cm x 10 cm pada SSD 85 cm) dari pesawat tomoterapi  
 $M_{Q_{msr}}^{f_{msr}}$  : bacaan dosimeter terkoreksi kondisi lingkungan, rekombinasi ion dan polaritas untuk medan radiasi  $f_{msr}$   
 $N_{D,w}$  : faktor kalibrasi detektor dalam besaran dosis serap air untuk berkas sinar gamma Co-60 (mGy/nC)

- $k_{Q,Q_0}$  : faktor koreksi berkas radiasi untuk kualitas berkas  $Q$  dari lapangan acuan konvensional 10 cm x 10 cm pada jarak sumber radiasi ke permukaan, SSD 100 cm sesuai dengan TG 51
- $k_{Q_{msr,Q}}^{f_{msr}f_{ref}}$  : faktor untuk mengoreksi perbedaan antara kondisi lapangan radiasi, geometri, bahan fantom dan kualitas berkas medan radiasi acuan konvensional  $f_{ref}$  dan medan radiasi dari *machine specific reference*  $f_{msr}$

Perkalian dua koefisien terakhir pada Persamaan 2 tersebut di atas dapat diperoleh menggunakan metoda yang direkomendasikan oleh Thomas et al. Thomas menguraikan metoda untuk menentukan suatu faktor yang mengoreksi perbedaan antara geometri, bahan fantom dan kualitas radiasi dari kondisi acuan pesawat linac konvensional dan medan radiasi *machine specific reference* pada pesawat tomoterapi menggunakan polinomial tingkat tiga yang disajikan pada Persamaan 3.

$$\%dd(10)_{x[HT_{TG-51}]} = 1,35805.(\%dd_{(10) \times (HT_{ref})})^3 - 244,493.(\%dd_{(10) \times (HT_{ref})})^2 + 14672,98.(\%dd_{(10) \times (HT_{ref})}) - 293479,4 \quad (3)$$

Untuk menggunakan Persamaan 3, pertama dilakukan pengukuran  $(\%dd_{(10) \times (HT_{ref})})$  menggunakan

detektor ionisasi yang sesuai untuk menghubungkan kualitas berkas ini dengan kualitas berkas radiasi standar yaitu PDD pada kedalaman 10 cm, SSD 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm. Selanjutnya dengan menggunakan protokol TG 51 atau Tabel 1 pada TG 148 akan diperoleh nilai  $k_{Q,Q_0} \cdot k_{Q_{msr,Q}}^{f_{msr}f_{ref}}$ . Nilai untuk kebanyakan detektor ionisasi terletak pada rentang 0,9995 sampai dengan 0,9990 [9].

## METODOLOGI

### Peralatan

Sebagai sumber radiasi digunakan pesawat tomoterapi Hi Art model H-0000-0003/011065 buatan Accuracy. Sumber radiasi pesawat tomoterapi ini adalah berkas foton 6 MV dari pesawat pemercepat linier medik yang ditempatkan pada *Gantri*. Pesawat ini dapat dioperasikan pada tegangan yang lebih rendah (3,5 MV) dan laju dosis dapat menghasilkan gambar *MVCT* untuk pengaturan posisi pasien. Berkas radiasi dimodulasi menggunakan 64 bilah kolimator.

Sebagai alat ukur radiasi untuk pengukuran persentase dosis di kedalaman digunakan detektor volume 0.056 cc Exradin A 1SL buatan Standard Imaging yang dihubungkan dengan elektrometer TomoElektrometer. Dalam pengukuran detektor ionisasi diletakkan dalam fantom air berukuran 40 cm x 25 cm x 25 cm. Detektor ionisasi A1SL, elektrometer TomoElektrometer dan fantom air dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



**Gambar 2.** Detektor ionisasi Exradin A1SL, elektrometer Tomo dan fantom air yang digunakan dalam pengukuran persentase dosis di kedalaman

Sebagai alat ukur radiasi untuk pengukuran luaran digunakan detektor ionisasi volume 0,6 cc model PTW TW 30013 no. seri 6367 yang dirangkaikan dengan elektrometer Farmer NE 2570/1B no. seri 1182, detektor ionisasi volume 0,056 model Exradin A 1 SL yang dirangkaikan dengan elektrometer TomoElektrometer dan detektor ionisasi volume 0,016 cc model PinPoint 3D yang dihubungkan dengan elektrometer Weblin.

### Pengukuran Persentase Dosis di Kedalaman

Pertama detektor ionisasi A1SL diletakkan di permukaan air pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 85 cm dengan lapangan radiasi pada permukaan air 5 cm x 10 cm. Selanjutnya detektor disinari dengan berkas radiasi foton 6 MV dan secara bersamaan detektor digerakkan secara otomatis di sepanjang sumbu utama berkas radiasi mulai dari permukaan sampai dengan kedalaman 25 cm

untuk pemindaian (*scanning*) distribusi dosis pada kedalaman tersebut. Hasil pemindaian dapat dilihat pada layar komputer seperti disajikan pada Gambar 4.

### Pemindaian ( *Scanning* ) Posisi Detektor

Mula mula dengan menggunakan bantuan sinar laser, titik acuan detektor TW 30013 diletakkan di permukaan air pada sumbu utama berkas radiasi foton. Selanjutnya detektor disinari dengan berkas radiasi foton 3,5 MV untuk mendapatkan gambar posisi detektor di sumbu utama berkas radiasi pada sumbu X dan Z. Jika posisi detektor kurang tepat maka dilakukan pengaturan.

### Pengukuran Laju Dosis Serap Berkas Foton

Setelah dilakukan pengukuran Persentase Dosis di Kedalaman berkas radiasi foton maka dilakukan pengukuran luaran berkas radiasi foton 6 MV dengan kondisi penyinaran statik. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air menggunakan sistem dosimeter Webline. Pengukuran dilakukan pada kedalaman 10 cm dengan jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 85 cm dan lapangan radiasi pada permukaan 5 cm x 10 cm. Pertama dilakukan pemanasan dosimeter yang digunakan selama beberapa menit, selanjutnya dilakukan penyinaran pendahuluan untuk 5 menit penyinaran. Setelah itu dilakukan penyinaran untuk waktu 1 menit pesawat. Pengambilan data dilakukan sebanyak 5 buah untuk keperluan pengukuran faktor-faktor koreksi rekombinasi ion, efek polaritas dan luaran. Temperatur dan tekanan udara selama pengukuran diamati. Susunan peralatan pada pengukuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

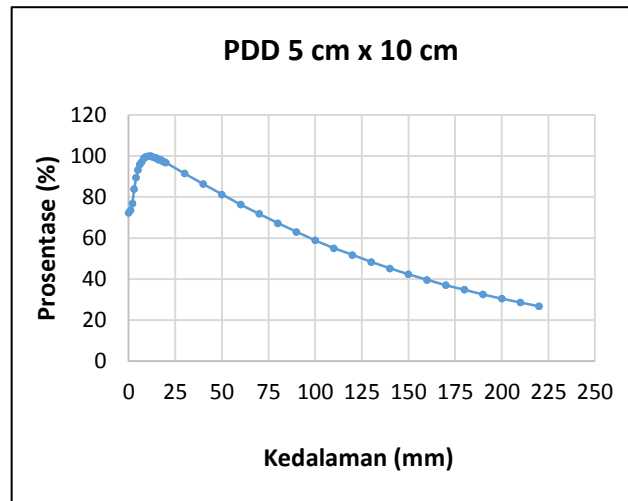


**Gambar 3.** Susunan peralatan pada pengukuran keluaran berkas foton 6 MV dari pesawat tomoterapi helik pada kondisi statik dengan jarak sumber radiasi ke permukaan fantom air 85 cm, lapangan radiasi di permukaan fantom air 5 cm x 10 cm dan kedalaman detektor 10 cm

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV dari pesawat tomoterapi Hi Art pada jarak

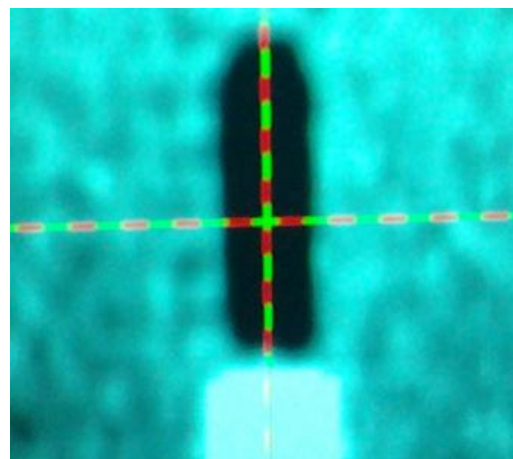
sumber radiasi ke permukaan air 85 cm dan lapangan radiasi 5 cm x 10 cm dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Persentase Dosis Di Kedalaman berkas foton 6 MV pesawat Tomoterapi Hi Art pada jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 85 cm dan lapangan radiasi 5 cm x 10 cm

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa persentase dosis di kedalaman 10 cm untuk jarak sumber radiasi ke permukaan 85 cm dan lapangan radiasi 5 cm x 10 cm mendapatkan nilai 58,87 %. Jika dibandingkan dengan pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV dari beberapa pesawat pemercepat linier konvensional buatan pabrik Elekta dan Varian yang mendapatkan persentase dosis di kedalaman 10 cm dengan nilai antara 66,2 % dan 67,5 % [10,11], maka kualitas radiasi berkas foton 6 MV dari pesawat tomoterapi Hi Art lebih rendah. Hal ini disebabkan karena untuk berkas foton yang tidak difiltrasi komponen berkas radiasi dengan energi rendah terukur.

Hasil pemindaian (*scanning*) detektor menggunakan berkas foton 3,5 MV dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa posisi detektor pada arah sumbu-X sudah cukup tepat. Dengan demikian pengukuran sudah dapat dimulai.



**Gambar 5.** Hasil pemindaian detektor TW 30013 menggunakan berkas foton 3,5 MV

**Tabel 1** Hasil penentuan laju dosis serap air pesawat tomoterapi Hi Art pada jarak sumber radiasi ke permukaan 85 cm dan lapangan radiasi 5 cm x 10 cm yang dilakukan menggunakan 3 buah detektor ionisasi

Detektor	$M_Q$ nC	$N_{D,w}$ mGy/nC	$k_Q$	$D_{10}$ mGy/menit	$PDD_{10}$ %	$D_{w,Q_{msr}}^{f_{msr}}$ mGy/menit
A 1 SL	8,330	603,3	0,9985	5018	58,87	8524 ± 2,5 %
TW 30013	92,390	54,27	0,9985	5006	58,87	8503 ± 2,5 %
PTW 31016	2,009	2516	0,9980	5045	58,87	8569 ± 2,5 %

Jika detektor A 1 SL dianggap sebagai acuan karena pra *commissioning* di pabrik dilakukan menggunakan detektor tersebut, maka dari Tabel 1 tersebut di atas dapat dilihat bahwa laju dosis serap air pada lapangan acuan spesifik mesin  $D_{w,Q_{msr}}^{f_{msr}}$  dari pesawat helikal tomoterapi Hi Art yang diukur menggunakan detektor PTW 31016 mendapatkan perbedaan yang tidak signifikan sebesar 0,5 %. Untuk detektor TW 30013 mendapatkan perbedaan yang lebih kecil lagi yaitu sebesar 0,2 %. Hasil ini menunjukkan bahwa pengukuran menggunakan ketiga detektor tersebut mendapatkan perbedaan yang tidak signifikan.

Meskipun data pengukuran ini tidak digunakan untuk penyinaran pasien karena sumber radiasi tersebut dalam keadaan statis, sedangkan untuk penyinaran pasien sumber radiasi berputar (dinamik), namun hasil pengukuran pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kinerja pesawat tomoterapi tersebut cukup baik dan data tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan kegiatan kendali mutu.

### KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa kualitas radiasi berkas foton 6 MV dari pesawat tomoterapi lebih rendah dibandingkan dengan pesawat pemercepat linier konvensional. Ketiga tipe detektor tersebut dapat digunakan untuk penentuan laju dosis serap air pada lapangan radiasi acuan spesifik mesin. Data pengukuran menggunakan ketiga tipe detektor ini dapat dijadikan acuan dalam melaksanakan kegiatan kendali mutu pesawat tomoterapi Hi Art tersebut.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Staf Unit Radioterapi Rumah Sakit Umum Pusat Nasional Dr. Cipto Mangunkusumo, Jakarta dan PT Transmedic atas kerja samanya sehingga penulisan ini dapat terlaksana.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Radiotherapy RSCM
- [2] PROF. SOEHARTATI GONDHOWIARDJO, MD, PhD, Current Status of Radiotherapy Services in Indonesia, MRCCC Radiotherapy Workshop, 2012.

- [3] RINA TAURISIA, MD, Rapid Arc optimization & verification, MRCCC Radiotherapy Workshop, 2012.
- [4] MACKIE TR, History of tomotherapy, Physics in Medicine and Biology, Phys. Med. Biol. 51, Institute of Physics Publishing, 2006.
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy; An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Report Series No.398, IAEA, Vienna, 2000.
- [6] AMARJIT SEN and MATTHEW K. WEST, Commissioning experience and quality assurance of helical tomotherapy machines, Journal of Medical Physics, 2009.
- [7] Simon Duane, Hugo Palmans, Peter Sharpe, Stefaan Vynckier, Traceability and absorbed dose standards for small fields, IMRT and helical tomotherapy, LNE-LNBH/BIPM workshop, NPL, 2007
- [8] Katja M. Langen, Niko Papanikolaou, John Balog, Richard Crilly, David Folowill, S Murty Goddu, Walter Grant III, Gustavo Olivera, Chester R. Ramsey, Chengyu Shi, QA for helical tomotherapy: Report of the AAPM Task Group 148, Med. Phys. 37, AAPM, 2010.
- [9] Peter R. ALMOND., PETER J. BIGGS., B.M. COURSEY, W.F. HANSOM, M. SAIFUL HUG, REVINDER NATH, D.W.O. ROGER, AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams, Med. Phys. 26, AAPM, 1999.
- [10] Sri Inang Sunaryati dkk, Verifikasi Penentuan Luaran Pesawat Pemercepat Linier Trilogy, Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir, ISSN 1978-0176, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir - Badan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta, 2016.
- [11] Sri Inang Sunaryati dkk, Penentuan Parameter Dosimetri Awal Berkas Foton Dari 5 Buah Pesawat Pemercepat Linier Medk Elekta Dan Varian Clinac Baru, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir, ISSN 0216-3128, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator - Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2016.

---

**TANYA JAWAB**

**Dwi Biyantoro**

- Hasil pengukuran dimasukkan dalam kesimpulan dan abstrak?

**Assef Firnando F.**

- *Makalah telah direvisi dengan menambahkan hasil pengukuran dosis serap di dalam abstrak dan kesimpulan.*