

## Penentuan *Margin Planning Target Volume* (PTV) Radioterapi dengan Teknik IMRT Kasus Kanker Nasofaring

Sitti Fathul Jannah<sup>1</sup>, Syamsir Dewang<sup>1</sup>, Satrial Male<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Fisika, Universitas Hasanuddin, Indonesia

<sup>2</sup>Instalasi Radioterapi, Rumah Sakit Pelamonia Makassar, Indonesia

Corresponding author: Sitti Fathul Jannah

Email: [fathul1616@gmail.com](mailto:fathul1616@gmail.com)

### ABSTRACT

**Background:** This research was conducted to determine PTV margins from the results of geometry verification using 3 calculation formulas for nasopharyngeal cancer cases with Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) techniques and recommend the most suitable calculation method for determining PTV margins. Verification is important to determine whether there is a shift in radiotherapy planning. Geometry errors or shifts were analyzed to obtain PTV margin values and reduce setup errors including systematic and random errors.

**Methods:** This type of research is quantitative research with interactive methods, interviews, documentation, and data collection of patient verification results. Geometry verification was carried out 3 times in the first fraction, 10th fraction, and 20th fraction using Electronic Portal Imaging Device (EPID) for nasopharyngeal cancer (KNF) cases at Radiotherapy Installation Pelamonia Hospital Makassar.

**Results:** The results showed that the random error was greater than the systematic error, indicating that it is more difficult to correct the random error due to its changing value. This occurs due to the movement of the organ around the target.

**Conclusions:** The PTV margin values in each formula were found to be 10.31 cm x-axis; 8.47 cm y-axis; and 60.34 cm z-axis using the Van Herk formula. The PTV margin using Stroom formula was 8.79 cm x-axis; 7.15 cm y-axis; and 51.47 cm z-axis. The PTV margin using the ICRU 62 formula was 4.90cm x-axis; 3.75cm y-axis; and 28.92cm z-axis. Van Herk's formula PTV margin is recommended based on the lowest percentage shift that lies outside the PTV margin.

Keyword: geometry verification; nasopharyngeal cancer; PTV; IMRT; EPID

### Pendahuluan

Kanker nasofaring (KNF) adalah bentuk karsinoma timbul pada daerah nasofaring (area pada *superior* tenggorokan dan di bagian *posterior* hidung) (Ma et al., 2021). Jumlah pasien yang menderita KNF semakin meningkat dan dapat menyebabkan kematian (Susetiyo et al., 2022). Di Indonesia, KNF merupakan keganasan terbanyak keempat, dengan tingkat kejadian diperkirakan 6,2 per 100.000 penduduk atau 12.000 kasus baru per tahun. KNF biasanya terlambat terdiagnosis, karena letak anatomi nasofaring yang tersembunyi (I Made Sunantara Astrea & I Gde Ardika Nuaba, 2023). Radioterapi dosis tinggi sebagai modalitas utama pengobatan KNF. Untuk menghindari cedera pada struktur normal dan membasmi sel kanker, sehingga perencanaan perawatan radioterapi yang cermat penting dilakukan (Ng et al., 2022). Sistem perencanaan perawatan (*Treatment Planning System-TPS*) radioterapi pada

KNF seringkali terkendala karena volume target yang berbelit-belit dan sejumlah besar organ-organ sehat yang berisiko (*Organ at Risk-OAR*) di sekitar tumor yang dilalui radiasi saling berdekatan. Oleh karena itu, sebelum dilakukan tindakan radioterapi diperlukan perencanaan perlakuan radiasi yang disebut TPS (Bai et al., 2020). Kemunculan IMRT sebagai bentuk revolusi radioterapi konformal tiga dimensi (*Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy-3DCRT*) yang merupakan kemajuan teknis paling penting dalam radioterapi. IMRT memiliki keunggulan dosimetri yang sangat baik sehingga dapat meminimalisir dosis radiasi yang diterima oleh organ sehat, sementara itu, target dapat memperoleh dosis yang optimal (Yeh et al., 2021). Akan tetapi, posisi anatomi lokal yang kompleks antara target dan sejumlah OAR di sekitarnya menyebabkan banyak kesalahan pengaturan dalam perencanaan dan pemberian pengobatan terhadap target (Abdullah et al., 2022). Kesalahan pengaturan dapat bervariasi dari hari ke

hari, hal ini terjadi akibat perbedaan dosis yang terakumulasi selama proses perencanaan perawatan dan reposisi pasien, yang menyebabkan pergeseran dalam distribusi dosis kumulatif (Amaoui et al., 2020). Untuk memastikan target memperoleh dosis radioterapi secara optimal, *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) merekomendasikan penentuan *Planning Target Volume* (PTV) (Biston et al., 2020). Menurut ICRU 62 PTV merupakan volume target dengan konsep geometris statis yang dijadikan sebagai fokus utama penyinaran dengan pengiriman dosis optimal ke *Clinical Target Volume* (CTV). Penentuan PTV dapat menghindari deviasi cakupan CTV karena kesalahan anatomi dan geometri (Podgorsak, 2005).

Keakuratan margin PTV dapat meminimalkan kesalahan pengaturan yang terdiri atas kesalahan sistematis dan acak (Amaoui et al., 2020). Kesalahan sistematis menyebabkan distribusi dosis menyimpang dari CTV, sementara kesalahan acak mengaburkan distribusi dosis di sekitar CTV. Proses verifikasi geometri menggunakan data margin PTV dapat membantu untuk memastikan bahwa volume penargetan sama dengan rencana pengobatan (Ramanathan et al., 2022). Verifikasi geometri dapat dilakukan dengan teknik IMRT menggunakan perangkat pencitraan portal elektronik (*Electronic Portal Imaging Device-EPID*) yang dapat menghasilkan citra dua dimensi. EPID adalah alat tambahan yang diintegrasikan pada pesawat Linac dengan sistem digital yang dapat dilihat langsung pada monitor komputer untuk verifikasi terapi (Cristian NP et al., 2023). EPID secara cepat dapat mendeteksi dan memperbaiki kesalahan pengaturan serta mengurangi margin pengobatan (Farajollahi et al., 2022).

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Elham dkk. (2023), mengenai kesalahan pengaturan dan perhitungan margin CTV-PTV menggunakan verifikasi EPID dinilai sangat efektif. Penelitian ini menggunakan metode van Herk, Stroom dan ICRU *Report* 62 untuk memperhitungkan margin PTV (Biomed et al., n.d.). Penelitian lainnya oleh Priyanka dkk. (2019), mengenai kesalahan pengaturan dan pengoptimalan margin PTV pada pasien KNF menggunakan teknik IMRT. Verifikasi dilakukan dengan *kiloVoltage Cone-Beam Computed Tomography* (kV-CBCT) pada lima fraksi awal radiasi menggunakan metode van Herk untuk menentukan kesalahan sistematis dan kesalahan acak dari populasi. Hasil penelitian menunjukkan

bahwa kesalahan sistematis lebih besar dari kesalahan acak dan dilakukan pemberian margin sebesar 5 mm ke segala arah pada CTV untuk mendapatkan PTV yang sesuai pada pelaksanaan radioterapi KNF dengan teknik IMRT (Biswas et al., 2020).

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah disebutkan menunjukkan bahwa verifikasi geometri dalam perencanaan radioterapi penting dilakukan untuk mengetahui pergeseran yang terjadi dalam penentuan margin PTV. Penentuan margin PTV dalam penelitian menggunakan metode perhitungan Van Herk, Stroom, dan ICRU *Report* 62 dari hasil verifikasi geometri dengan teknik penyinaran IMRT menggunakan EPID di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Pelamonia Makassar. Verifikasi geometri dengan teknik IMRT pada pasien kanker nasofaring bertujuan untuk memastikan volume tumor dan keakuratan geometri saat penyinaran diberikan sama seperti hasil perencanaan dan masih di dalam batas batas yang diizinkan dalam perencanaan penyinaran. Penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui metode perhitungan margin PTV yang paling sesuai diterapkan pada penyinaran pasien kanker nasofaring.

## Metode

Verifikasi geometri menggunakan EPID terhadap pasien penderita kanker nasofaring (KNF) dengan titik *isocenter* yang sama. Subyek penelitian dengan seorang dokter spesialis onkologi radiasi; seorang fisika medis yang terlibat langsung dalam merancang arah berkas penyinaran; 3 orang radiografer yang berpartisipasi dalam kegiatan verifikasi geometri pasien KNF; 5 orang pasien sebagai sampel, dengan paparan kasus dan prosedur verifikasi geometri diwakili dalam satu sampel, dan 4 sampel hanya diambil hasil pergeserannya pada bidang *Anteroposterior* dan *Lateral*. Data hasil pergeseran yang diperoleh kemudian dianalisis untuk mendapatkan kesalahan sistematis dan kesalahan acak. Kesalahan sistematis dan acak dapat diperoleh dengan menentukan nilai nilai berikut (Biomed et al., n.d.):

1. Kesalahan sistematis individu ( $\hat{\Sigma}_{setup}$ ):

$$\hat{\Sigma}_{setup} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n}{n} \quad (1)$$

2. Kesalahan sistematis rata rata populasi ( $\bar{\Sigma}_{setup}$ ):

$$\bar{\Sigma}_{setup} = \frac{\hat{\Sigma}_{setup1} + \hat{\Sigma}_{setup2} + \hat{\Sigma}_{setup3} + \dots + \hat{\Sigma}_{setupP}}{P} \quad (2)$$

3. Kesalahan sistematik populasi ( $\hat{\Sigma}_{setup}$ ):

$$\hat{\Sigma}_{setup} = \sqrt{\frac{(\hat{\Sigma}_{setup1} - \bar{\Sigma}_{setup})^2 + (\hat{\Sigma}_{setup2} - \bar{\Sigma}_{setup})^2 + \dots + (\hat{\Sigma}_{setupP} - \bar{\Sigma}_{setup})^2}{P-1}} \quad (3)$$

4. Kesalahan acak individu ( $\hat{\sigma}_{setup}$ ):

$$\hat{\sigma}_{setup} = \sqrt{\frac{(\Delta_1 - \bar{\Sigma}_{setup})^2 + (\Delta_2 - \bar{\Sigma}_{setup})^2 + (\Delta_3 - \bar{\Sigma}_{setup})^2 + \dots + (\Delta_n - \bar{\Sigma}_{setup})^2}{n-1}} \quad (4)$$

5. Kesalahan acak populasi ( $\sigma_{setup}$ ):

$$\sigma_{setup} = \frac{\hat{\sigma}_1 + \hat{\sigma}_2 + \hat{\sigma}_3 + \dots + \hat{\sigma}_p}{P} \quad (5)$$

dengan  $\Delta_{1,2,3,\dots,n}$  adalah pergeseran geometri pada fraksi ke-1, fraksi ke-2, fraksi ke-3, ..., fraksi ke-n (cm), n adalah banyaknya fraksi penyinaran, dan P adalah jumlah individu dalam populasi.

Kesalahan sistematik dan kesalahan acak yang diperoleh akan digunakan dalam perhitungan margin PTV menggunakan formula Van Herk, Stroom dan Hejimen, dan ICRU 62 (Biomed et al., n.d.):

$$M_{PTV} = 2,5\bar{\Sigma}_{setup} + 0,7\sigma_{setup} \quad \text{Van Herk} \quad (6)$$

$$M_{PTV} = 2\bar{\Sigma}_{setup} + 0,7\sigma_{setup} \quad \text{Stroom dan Hejimen} \quad (7)$$

$$M_{PTV} = \sqrt{(\bar{\Sigma}_{setup})^2 + (\sigma_{setup})^2} \quad \text{ICRU Report 62} \quad (8)$$

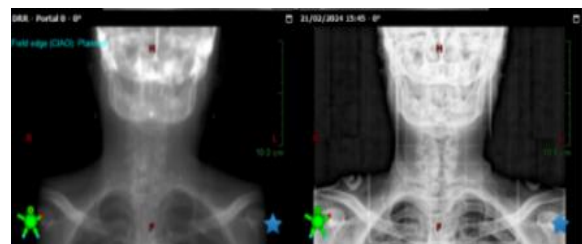
Pengambilan data dilakukan pada bulan Februari hingga April 2024, di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Pelamonia Makassar menggunakan fasilitas EPID, TPS, dan pesawat penyinaran Linac. Data data pergeseran dari sampel dikumpulkan dengan metode interaktif, wawancara, dokumentasi, dan data hasil verifikasi pasien yang tersimpan pada komputer Linac kemudian diolah dalam bentuk perhitungan dan ditampilkan dalam bentuk tabulasi untuk dibuat kesimpulan.

### Hasil dan Pembahasan

Penelitian hanya berfokus untuk verifikasi geometri yang bertujuan untuk memastikan posisi pasien pada saat perencanaan sama dengan posisi pasien pada saat penyinaran dilakukan. Sebelum verifikasi dilakukan, perencanaan pengobatan radiasi atau TPS dilakukan terlebih dahulu. TPS akan menghasilkan citra referensi lapangan radiasi

disebut sebagai citra DRR, yang berisi informasi mengenai titik *isocenter* yang akan digunakan selama proses penyinaran. Verifikasi geometri dilakukan pada hari pertama *treatment* akan diberikan.

Verifikasi geometri diawali dengan menempatkan pasien pada titik awal kemudian digerakkan ke titik *isocenter* sesuai dengan perintah pergeseran yang diberikan dari TPS. Pasien diposisikan *supine* diatas meja pemeriksaan menggunakan masker termoplastik dan sandaran kepala. Pemasangan *eyeshield* diberikan sebelum masker termoplastik digunakan. Posisi pasien kemudian dikonfirmasi melalui laser sesuai dengan titik *origin* yang telah dibuat di CT-simulator. Laser harus sesuai dengan titik origin pada tubuh pasien. Selanjutnya, melihat pergeseran meja yang telah direncanakan pada TPS yang terdiri dari pergeseran sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z. Setelah posisi meja telah sesuai dengan perhitungan TPS, maka dilakukan pemberian tanda didaerah penyinaran pada masker termoplastik pasien dengan plester dan digambar dengan spidol yang berwarna berbeda (untuk membedakan titik *origin* dari CT-simulator) yang nantinya akan berfungsi sebagai titik penyinaran selanjutnya. Verifikasi geometri pada Linac dilakukan dengan EPID yang menghasilkan citra EPID. *Detector* EPID dikeluarkan dari posisi parkir dengan menekan tombol "*motion enable*" pada *control console*. Kemudian, tombol "*prepare*" ditekan dan ditahan hingga proses pemindaian selesai, menghasilkan citra portal anatomi dari daerah nasofaring pada layar monitor. Setelah selesai, *detector* EPID dikembalikan ke posisi parkir dengan memutar arah *gantry* ke 0° terlebih dahulu, diikuti dengan menekan tombol "*motion enable*". Analisis hasil verifikasi dilakukan, dimana citra perencanaan DRR yang dihasilkan dari *planning* TPS dan citra hasil verifikasi EPID ditampilkan di layar komputer dengan posisi DRR di sisi kiri dan EPID di sisi kanan layar (*side by side*) dapat dilihat pada gambar di bawah:



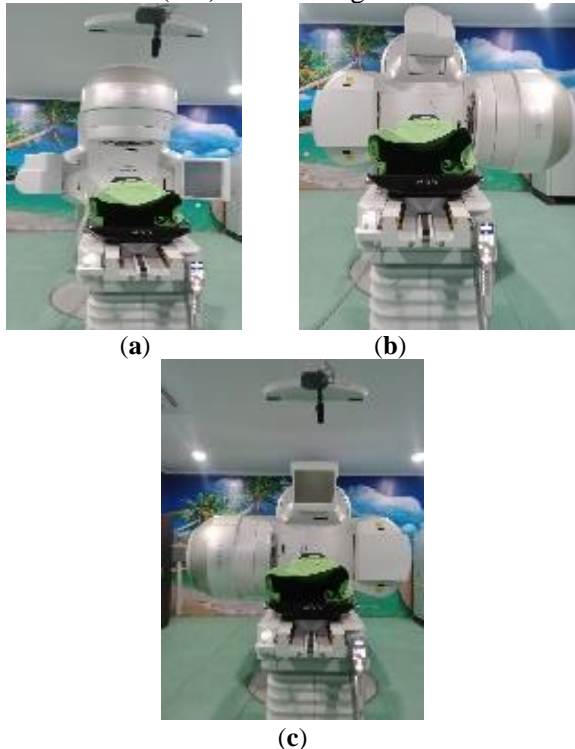
**Gambar 1** Posisi citra hasil perencanaan DRR dan citra hasil verifikasi EPID *side by side*

Selanjutnya, citra DRR dicocokkan dengan citra EPID, sehingga diperoleh data pergerakan dari titik *isocenter*.



**Gambar 2.** Proses pencocokan citra hasil perencanaan DRR dan citra hasil verifikasi EPID

Verifikasi geometri dilakukan menggunakan EPID dari posisi AP atau arah depan untuk menghasilkan sumbu-x dan sumbu-y, serta dari posisi *Lateral* (Lat) untuk menghasilkan sumbu-z.



**Gambar 3.** Pengambilan citra EPID dari posisi AP dengan sudut penyinaran 0° (a), citra EPID dari posisi Lat dengan sudut penyinaran 90° (b), dan citra EPID dari posisi Lat dengan sudut penyinaran 270° (c)

Setelah verifikasi selesai dilakukan, *treatment* pada fraksi pertama langsung diberikan pada ruang perawatan. Selanjutnya, jarak tulang acuan padasumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z yang melalui titik *isocenter* diukur dan dimasukkan ke dalam tabulasi.

**Tabel 1** Hasil perencanaan (DRR) dengan hasil verifikasi (EPID) pada sumbu-x

| Nomor Sampel | Jarak Sumbu-x (cm) |             |              |              |
|--------------|--------------------|-------------|--------------|--------------|
|              | DRR                | Fraksi ke-1 | Fraksi ke-10 | Fraksi ke-20 |
| 1            | 0,71               | 0,63        | 0,88         | 0,74         |
| 2            | 0,88               | 18,91       | 1,17         | 1,56         |
| 3            | 0,70               | 15,16       | 0,51         | 0,74         |
| 4            | 0,29               | 0,49        | 0,65         | 0,22         |
| 5            | 0,30               | 0,55        | 0,69         | 0,13         |

Tabel 1 merupakan data hasil perencanaan yang merupakan citra DRR pada 5 sampel pasien KNF terhadap data hasil verifikasi atau citra EPID dengan 3 kali fraksi untuk sumbu-x.

**Tabel 2.** Hasil perencanaan (DRR) dengan hasil verifikasi (EPID) pada sumbu-y

| Nomor Sampel | Jarak Sumbu-y (cm) |             |              |              |
|--------------|--------------------|-------------|--------------|--------------|
|              | DRR                | Fraksi ke-1 | Fraksi ke-10 | Fraksi ke-20 |
| 1            | 2,84               | 2,72        | 2,9          | 2,7          |
| 2            | 4,62               | 18,24       | 0,82         | 12,88        |
| 3            | 2,09               | 2,41        | 2,14         | 5,89         |
| 4            | 2,13               | 1,66        | 2,2          | 2,23         |
| 5            | 4,06               | 3,84        | 4,16         | 4,09         |

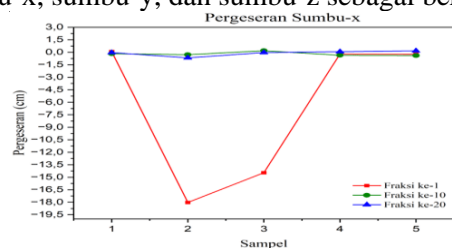
Tabel 2 menunjukkan data hasil perencanaan yang merupakan citra DRR pada 5 sampel pasien KNF terhadap data hasil verifikasi atau citra EPID dengan 3 kali fraksi untuk sumbu-y.

**Tabel 3.** Hasil perencanaan (DRR) dengan hasil verifikasi (EPID) pada sumbu-z

| Nomor Sampel | Jarak Sumbu-z (cm) |             |              |              |
|--------------|--------------------|-------------|--------------|--------------|
|              | DRR                | Fraksi ke-1 | Fraksi ke-10 | Fraksi ke-20 |
| 1            | 1,30               | 1,46        | 1,4          | 1,84         |
| 2            | 16,82              | 109,33      | 17,11        | 15,94        |
| 3            | 9,30               | 111,82      | 9,01         | 9,29         |
| 4            | 0,96               | 2,12        | 0,87         | 0,68         |
| 5            | 6,98               | 6,7         | 7,35         | 7,25         |

Tabel 3 menunjukkan data hasil perencanaan yang merupakan citra DRR pada 5 sampel pasien KNF terhadap data hasil verifikasi atau citra EPID pada 3 kali fraksi untuk sumbu-z.

Setelah diketahui data hasil perencanaan dengan data hasil verifikasi dari observasi yang telah dilakukan, dapat diperoleh nilai pergeseran arah radiasi pada 5 sampel pasien KNF untuk sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z sebagai berikut:



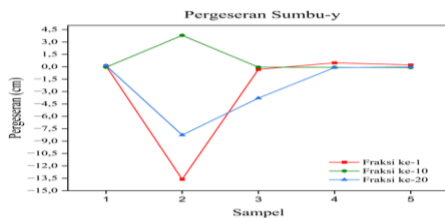
**Gambar 4.** Grafik pergeseran margin PTV pada sumbu-x

Gambar 4 menampilkan grafik pergeseran margin PTV kanker nasofaring pada sumbu-x dengan 5 sampel. Nilai dari pergeseran tersebut kemudian diolah untuk menentukan besar kesalahan geometri pada sumbu-x, dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4.** Kesalahan geometri pada sumbu-x

| Nomor Sampel              | Pergeseran Sumbu-x (cm)    |                             |                             | $\sum_{setup}$ (cm) | $\hat{\sigma}_{setup}$ (cm) |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
|                           | Fraksi ke-1 ( $\Delta_1$ ) | Fraksi ke-10 ( $\Delta_2$ ) | Fraksi ke-20 ( $\Delta_3$ ) |                     |                             |
| 1                         | 0,08                       | -0,17                       | -0,03                       | -0,04               | 0,12                        |
| 2                         | -18,03                     | -0,29                       | -0,68                       | -6,33               | 10,13                       |
| 3                         | -14,46                     | 0,19                        | -0,04                       | -4,77               | 8,39                        |
| 4                         | -0,20                      | -0,36                       | 0,07                        | -0,03               | 0,27                        |
| 5                         | -0,25                      | -0,39                       | 0,17                        | -0,16               | 0,29                        |
| $\bar{\sum}_{setup}$ (cm) |                            |                             |                             | -2,27               |                             |
| $\sum_{setup}$ (cm)       |                            |                             |                             | 3,05                |                             |
| $\sigma_{setup}$ (cm)     |                            |                             |                             |                     | 3,84                        |

Berdasarkan tabel 4, nilai pergeseran dari 5 sampel yang diperoleh digunakan untuk menentukan kesalahan sistematis dan kesalahan acak.



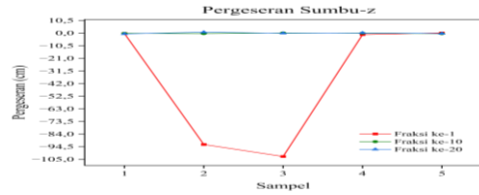
**Gambar 5.** Grafik pergeseran margin PTV pada sumbu-y

Gambar 5 menampilkan grafik pergeseran margin PTV kanker nasofaring pada sumbu-y dengan menggunakan 5 sampel. Nilai dari pergeseran tersebut kemudian diolah untuk menentukan besar kesalahan geometri pada sumbu-y, ditampilkan pada Tabel 5.

**Tabel 5** Kesalahan geometri pada sumbu-y

| Nomor Sampel              | Pergeseran Sumbu-y (cm)    |                             |                             | $\sum_{setup}$ (cm) | $\hat{\sigma}_{setup}$ (cm) |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
|                           | Fraksi ke-1 ( $\Delta_1$ ) | Fraksi ke-10 ( $\Delta_2$ ) | Fraksi ke-20 ( $\Delta_3$ ) |                     |                             |
| 1                         | 0,12                       | -0,06                       | 0,14                        | 0,07                | 0,11                        |
| 2                         | -13,62                     | 3,80                        | -8,26                       | -6,03               | 8,92                        |
| 3                         | -0,32                      | -0,05                       | -3,80                       | -1,39               | 3,86                        |
| 4                         | 0,47                       | -0,07                       | -0,10                       | 0,10                | 0,32                        |
| 5                         | 0,22                       | -0,10                       | -0,03                       | 0,03                | 0,17                        |
| $\bar{\sum}_{setup}$ (cm) |                            |                             |                             | -1,44               |                             |
| $\sum_{setup}$ (cm)       |                            |                             |                             | 2,64                |                             |
| $\sigma_{setup}$ (cm)     |                            |                             |                             |                     | 2,67                        |

Berdasarkan tabel 5, nilai pergeseran dari 5 sampel yang diperoleh digunakan untuk menentukan kesalahan sistematis dan kesalahan acak.



**Gambar 6.** Grafik pergeseran margin PTV pada sumbu-z

Nilai dari pergeseran tersebut kemudian diolah untuk menentukan besar kesalahan geometri pada sumbu-y, ditampilkan Tabel 6.

**Tabel 6.** Kesalahan geometri pada sumbu-z

| Nomor Sampel              | Pergeseran Sumbu-z (cm)    |                             |                             | $\sum_{setup}$ (cm) | $\hat{\sigma}_{setup}$ (cm) |
|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
|                           | Fraksi ke-1 ( $\Delta_1$ ) | Fraksi ke-10 ( $\Delta_2$ ) | Fraksi ke-20 ( $\Delta_3$ ) |                     |                             |
| 1                         | -0,16                      | -0,10                       | -0,54                       | -0,27               | 0,24                        |
| 2                         | -92,51                     | -0,29                       | 0,88                        | -31,03              | 53,59                       |
| 3                         | -102,52                    | 0,29                        | 0,01                        | -34,07              | 59,28                       |
| 4                         | -1,16                      | 0,09                        | 0,28                        | -0,26               | 0,78                        |
| 5                         | 0,28                       | -0,37                       | -0,27                       | -0,12               | 0,35                        |
| $\bar{\sum}_{setup}$ (cm) |                            |                             |                             | -13,15              |                             |
| $\sum_{setup}$ (cm)       |                            |                             |                             | 17,74               |                             |
| $\sigma_{setup}$ (cm)     |                            |                             |                             |                     | 22,84                       |

Berdasarkan tabel 6, nilai pergeseran dari 5 sampel yang diperoleh digunakan untuk menentukan kesalahan sistematis dan kesalahan acak.

Data ketiga tabel di atas, dari hasil perhitungan diperoleh kesalahan acak populasi lebih besar jika dibandingkan dengan kesalahan sistematis populasi. Hasil yang didapat sesuai dengan penelitian serupa yang dilakukan oleh Priyanka dkk. (2019), dalam penelitiannya mendapatkan kesalahan acak lebih besar daripada kesalahan sistematis, untuk kesalahan acak terbesar terdapat pada sumbu-x (kanan-kiri) sebesar 0,18 cm dan kesalahan sistematis terbesar terdapat juga pada sumbu-x (kanan-kiri) dan sumbu-z (*antero-posterior*) yaitu sebesar 0,09 cm [11]. Penelitian lainnya oleh Veerabhadran dkk. (2022), mendapatkan kesalahan acak terbesar terdapat pada sumbu *superior-inferior* sebesar 0,6191 cm, dan kesalahan sistematis terbesar pada sumbu *superior-inferior* sebesar 0,5832 cm.

Besarnya kesalahan acak yang diperoleh menunjukkan bahwa lebih sulit dilakukan koreksi pada kesalahan acak karena nilainya yang berubah-ubah. Hal tersebut terjadi akibat pergerakan organ di sekitar target. Oleh sebab itu, prosedur pemosisian pasien harus ditangani dengan teliti untuk meminimalkan variasi *setup* pasien.



**Tabel 7.** Margin PTV populasi menggunakan persamaan Van Herk, Stroom, dan ICRU 62.

| Sumbu           | Margin PTV (cm)  |                |                 |
|-----------------|------------------|----------------|-----------------|
|                 | Formula Van Herk | Formula Stroom | Formula ICRU 62 |
| x               | 10,31            | 8,79           | 4,90            |
| y               | 8,47             | 7,15           | 3,75            |
| z               | 60,34            | 51,47          | 28,92           |
| Margin          | 26,37            | 22,47          | 12,52           |
| Standar Deviasi | 29,43            | 25,13          | 14,21           |

Tabel 7, menunjukkan bahwa nilai *margin* PTV yang diperoleh berasal dari kesalahan geometri terhadap sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z menggunakan tiga metode perhitungan. Berdasarkan hasil analisis terlihat bahwa *margin* PTV yang diperoleh menggunakan formula Van Herk lebih besar jika dibandingkan dengan formula Stroom dan ICRU 62. Besarnya nilai *margin* PTV yang diperoleh dari setiap metode perhitungan memiliki nilai yang berbeda beda. Ini dikarenakan faktor bobot kesalahan sistematik populasi  $\sum_{\text{setup}}$  masing masing formula berbeda. Untuk melihat seberapa besar kesalahan pengukuran dari setiap metode perhitungan yang digunakan, maka diperlukan nilai standar deviasi. Besarnya standar deviasi dipengaruhi oleh nilai *margin* PTV pada setiap sumbu.

**Tabel 8** Persentase jumlah pergeseran geometri yang berada di luar *margin* PTV yang dihitung menggunakan 3 formula pada sumbu-x,y, dan z

| Sumbu | Margin PTV (cm)  |                |                 |
|-------|------------------|----------------|-----------------|
|       | Formula Van Herk | Formula Stroom | Formula ICRU 62 |
| x     | 13%              | 13%            | 13%             |
| y     | 6,67%            | 13%            | 26,67%          |
| z     | 13%              | 13%            | 13%             |

Berdasarkan tabel 8 terlihat bahwa terdapat pergeseran geometri yang berada di luar *margin* PTV dengan nilai yang cukup besar melebihi *margin* PTV. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan pergeseran geometri yang melebihi *margin* PTV seperti pergerakan pasien dan pergerakan organ. Faktor pergerakan pasien selama proses radiasi dapat mengakibatkan sinar bergeser dari titik awal penyinaran. Pergerakan organ juga dapat terjadi karena posisi target yang berada pada bagian tubuh yang rentan terjadi pergerakan dan proses verifikasi dilakukan setiap Sembilan hari sekali, sehingga pergerakan organ di sekitar target tumor serta peningkatan atau penurunan volume tumor dapat mempengaruhi hasil pergeseran geometri. Nilai persentase pergeseran geometri

terendah diperoleh menggunakan formulasi Van Herk sementara formula Stroom dan ICRU 62 bernilai lebih besar, hal ini dikarenakan oleh *margin* PTV yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan *margin* PTV pada formula Van Herk.

Tingginya persentase pergeseran geometri yang berada di luar *margin* PTV untuk tiga formula perhitungan disebabkan oleh sedikitnya jumlah verifikasi yang dilakukan pada pasien akibat keterbatasan alat. Oleh karena itu, dalam penelitian ini verifikasi geometri hanya dilakukan di fraksi pertama, fraksi ke-10, dan fraksi ke-20. Alat yang digunakan pada penelitian menggunakan EPID yang terintegrasi dengan Linac varian TrueBeam untuk verifikasi geometri yang harus dilakukan secara manual, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama saat verifikasi.

**Simpulan**

Nilai kesalahan geometri diperoleh dari hasil verifikasi geometri yang dilakukan pada pasien kasus KNF dengan titik *isocenter* sama yang diradioterapi dengan teknik IMRT kemudian dievaluasi untuk memperoleh kesalahan sistematik  $\sum_{\text{setup}}$  dan kesalahan acak  $\sigma_{\text{setup}} \cdot \sum_{\text{setup}}$  didapatkan dari pengolahan data pergeseran pada setiap sumbu x, sumbu y, dan sumbu z yaitu 3,05 cm; 2,64 cm; dan 17,74 cm. Sedangkan  $\sigma_{\text{setup}}$  pada masing masing sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z yaitu 3,84 cm; 2,67 cm; dan 22,84 cm. Metode perhitungan dengan metode Van Herk memiliki nilai persentase paling rendah diluar *margin* PTV untuk masing masing sumbu x, sumbu y, dan sumbu z berturut turut sebesar 13%; 6,67%; dan 13%. Dengan demikian, penentuan *margin* PTV menggunakan formula Van Herk untuk pasien kasus kanker nasofaring disarankan pada penelitian ini berdasarkan persentase pergeseran terendah yang terdapat diluar *margin* PTV.

**Daftar Pustaka**

Abdullah, B., Balasubramanian, A., & Lazim, N. M. (2022). *An Evidence-Based Approach to the Management of Nasopharyngeal Cancer: From Basic Science to Clinical Presentation and Treatment* (B. Abdullah, A. Balasubramanian, & N. M. Lazim, Eds.; 1st ed.). Academic Press, Elsevier.

Amaoui, B., Hadaoui, A., Mouhssine, D., & Semghouli, S. (2020). Evaluation of setup errors in conformal radiotherapy for pelvic

- tumours: Case of the Regional Center of Oncology, Agadir. *Radiation Medicine and Protection*, 1(2), 99–102. <https://doi.org/10.1016/j.radmp.2020.05.003>
- Bai, P., Weng, X., Quan, K., Chen, J., Dai, Y., Xu, Y., Lin, F., Zhong, J., Wu, T., & Chen, C. (2020). A knowledge-based intensity-modulated radiation therapy treatment planning technique for locally advanced nasopharyngeal carcinoma radiotherapy. *Radiation Oncology*, 15(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13014-020-01626-z>
- Biomed, J., Eng, P., Ahmadi, E., Eskandari, A., Mohammadi, M., Naji, M., Naseri, S., & Gholamhosseinian, H. (n.d.). *Evaluation of Interfractional Setup Uncertainties and Calculation of Adequate CTV-PTV Margin for Head and Neck Radiotherapy using Electronic Portal Imaging Device*.
- Biston, M. C., Chiavassa, S., Grégoire, V., Thariat, J., & Lacornerie, T. (2020). Time of PTV is ending, robust optimization comes next. *Cancer/Radiotherapie*, 24(6–7), 676–686. <https://doi.org/10.1016/j.canrad.2020.06.016>
- Biswas, P., Lahiri, D., Roy, S., Maji, T., Bhadra, K., Ray, D. K., Das, S., De, P., & Mohanta, B. K. (2020). Prospective observational study to estimate set-up errors and optimise PTV margins in patients undergoing IMRT for head and neck cancers from a Government cancer centre of Eastern India. *Journal of Radiotherapy in Practice*, 19(1), 52–58. <https://doi.org/10.1017/S1460396919000487>
- Cristian NP, A. D., Latifah, L., & Rusyadi, L. (2023). The effectiveness of trivariate shrinkage computer radiography (CR) technique on image quality and anatomical information in radiotherapy geometric verification. *International Journal of Health Science and Technology*, 5(1), 52–62. <https://doi.org/10.31101/ijhst.v5i1.3037>
- Farajollahi, A., Mohammadzadeh, N., Momenzad, M., Naseri, S., Mohebbi, S., Shahedi, F., & Mohebbi, S. (2022). Evaluation of Patient Set Up Errors in Head and Neck Three-Dimensional (3D) Conformal and Intensity-Modulated Radiotherapy Using Electronic Portal Imaging Device. *Iranian Journal of Medical Physics*, 19(5), 270–274. <https://doi.org/10.22038/IJMP.2022.58298.1977>
- I Made Sunantara Astrea, & I Gde Ardika Nuaba. (2023). Characteristics of risk factors in nasopharyngeal carcinoma patients at Sanglah general hospital, Denpasar, Period July – September 2021. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 22(2), 256–260. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2023.22.2.0081>
- Ma, J., Lee, N. Y., & Lu, J. J. (2021). *Nasopharyngeal Cancer A Practical Guide on Diagnosis and Treatment Practical Guides in Radiation Oncology Series Editors* (1st ed.). Springer International Publishing. <http://www.springer.com/series/13580>
- Ng, W. T., Chow, J. C. H., Beitler, J. J., Corry, J., Mendenhall, W., Lee, A. W. M., Robbins, K. T., Nuyts, S., Saba, N. F., Smee, R., Stokes, W. A., Strojjan, P., & Ferlito, A. (2022). Current Radiotherapy Considerations for Nasopharyngeal Carcinoma †. In *Cancers* (Vol. 14, Issue 23, pp. 1–15). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cancers14235773>
- Podgorsak, E. B. (2005). *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students* (E. B. Podgorzak, Ed.). International Atomic Energy Agency.
- Ramanathan, V., Gunarathne, K., Sampath, D. C., & Rizwy, M. M. (2022). Evaluation of Set-Up Errors and Set-Up Margin in Three-Dimensional Conformal Radiotherapy for Pelvic Tumours by Using Electronic Portal Imaging Device. *KDU Journal of Multidisciplinary Studies*, 4(2), 77–85. <https://doi.org/10.4038/kjms.v4i2.53>
- Susetiyo, A. K., Kusumastuti, H. E., & Yusuf, M. (2022). Clinicopathological Profile of Nasopharyngeal Carcinoma in 2016-2019 at Dr. Soetomo General Hospital. *Clinicopathological Profile of Nasopharyngeal Carcinoma*, 52(1), 7–12.
- Yeh, S. A., Hwang, T. Z., Wang, C. C., Yang, C. C., Lien, C. F., Wang, C. C., Hsu, T. Y., Hsu, R. F., Shih, Y. C., Huang, Y. C., Hsieh, M. C., Gau, J. S., Chang, L., & Lee, T. F. (2021). Outcomes of patients with nasopharyngeal carcinoma treated with intensity-modulated radiotherapy. *Journal of Radiation Research*, 62(3), 438–447. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrab008>