

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kanker adalah salah satu penyebab utama kematian Manusia di dunia. Penyakit ini terjadi ketika sel-sel tubuh tumbuh secara cepat dan tidak terkendali, membentuk sel baru yang tidak sempurna dan bersifat ganas (Ariguntar, dkk 2025). Kanker yang paling sering ditemukan pada wanita di seluruh dunia adalah kanker payudara, yang mencakup 22% dari semua kasus baru kanker pada perempuan (Suparna, 2022). Kanker payudara merupakan jenis kanker dengan presentase insiden tertinggi di Indonesia dan menempati urutan tertinggi kedua di seluruh dunia setelah kanker paru-paru. Berdasarkan data *Global Burden Cancer* (GLOBOCAN) tahun 2022 jumlah insiden kasus kanker dunia mencapai total 18,7 juta kasus dan kasus kanker payudara menyumbang sekitar 2.2 juta kasus (11.8%) sebagai insiden kanker tertinggi kedua setelah kanker paru-paru (Putri, 2024).

Kanker payudara merupakan suatu neoplasma ganas, yaitu pertumbuhan jaringan payudara yang abnormal yang secara infiltratif dan destruktif dapat menyerang jaringan di sekitarnya serta berpotensi *bermetastasis*. Tumor ini tumbuh secara *progresif* dan relatif cepat membesar (Sembiring, 2022). Pengobatan kanker payudara melibatkan berbagai metode seperti pembedahan, kemoterapi, dan radioterapi, dengan pembedahan sering menjadi pilihan pengobatan pertama. Sedangkan radioterapi digunakan sebagai metode pengobatan kanker payudara menggunakan radiasi pengion untuk membunuh sel kanker (Yantini, dkk 2023).

Radioterapi atau terapi radiasi merupakan salah satu metode perawatan kanker yang menggunakan sinar-x berenergi tinggi, sinar gamma, atau elektron untuk menghancurkan sel kanker (Apriantoro, 2023). Terapi ini umum diberikan pada pasien kanker, baik sebagai terapi tunggal maupun dikombinasikan dengan metode pengobatan lain seperti kemoterapi dan tindakan operasi, tergantung pada kondisi klinis pasien (Nurhayati, dkk 2020). Dalam pelaksanaannya, radioterapi *external* umumnya menggunakan pesawat *Linear Accelerator* (LINAC). LINAC merupakan pesawat pemercepat partikel yang berfungsi menghasilkan berkas radiasi berenergi tinggi yang diarahkan secara presisi ke jaringan target untuk mematikan sel tumor atau kanker, dengan tetap mempertimbangkan perlindungan jaringan sehat di sekitarnya (Suharmono et al., 2020).

Pesawat LINAC mendukung berbagai teknik penyinaran radioterapi, antara lain *Three-Dimensional Conformal Radiotherapy* (3D-CRT), *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT), dan *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) (Husni dkk., 2021). Teknik 3D-CRT merupakan pengembangan dari radioterapi konvensional yang menggunakan pencitraan tiga dimensi untuk menyesuaikan bentuk lapangan radiasi dengan target, namun masih memiliki keterbatasan dalam pengaturan distribusi dosis pada jaringan sekitar. Seiring dengan perkembangan teknologi radioterapi, salah satu teknik yang banyak digunakan saat ini adalah *Intensity Modulated Radiation Therapy*. IMRT merupakan teknik radioterapi modern yang mampu memberikan radiasi secara lebih tepat dan intensif pada tumor dengan

memodulasi intensitas berkas radiasi, sehingga dosis pada jaringan normal di sekitar target dapat diminimalkan (Apriantoro, 2023). Melalui penggunaan berkas sinar yang bersifat tidak seragam (*non-uniform*), IMRT memungkinkan pembentukan distribusi dosis yang mengikuti bentuk target radiasi secara lebih optimal (Wulandari dkk., 2023). Perkembangan teknologi IMRT telah memungkinkan distribusi dosis yang lebih presisi dan konformal terhadap *Planning Target Volume* (PTV). Dengan kemampuan membentuk intensitas radiasi sesuai kebutuhan target, IMRT dapat mengatasi ketidakseragaman dosis pada PTV dan meningkatkan kualitas perencanaan terapi radiasi (Wulandari, 2022).

Penatalaksanaan kanker payudara (*carcinoma mammae*) dapat dilakukan melalui berbagai modalitas terapi, baik dengan pembedahan maupun tanpa pembedahan, yang sering kali dikombinasikan dengan radioterapi untuk meningkatkan kontrol lokal penyakit. Pada banyak kasus kanker payudara, radioterapi diberikan sebagai terapi adjuvan setelah tindakan pembedahan berupa pengangkatan jaringan payudara. Prosedur pembedahan tersebut dikenal sebagai mastektomi atau kondisi pasca mastektomi (*post mastektomi*), yaitu tindakan bedah yang bertujuan mengangkat jaringan payudara secara menyeluruh. Luas reseksi pada mastektomi dapat meliputi seluruh payudara, kulit, otot *pektoralis mayor* dan *minor*, serta *nodus limfe aksilaris*, termasuk kelenjar *mamae internal* atau supraklavikular, yang disesuaikan dengan jenis *mastektomi* yang dilakukan (Sembiring, 2022). Sementara itu, pada kasus radioterapi *mammae* tanpa didahului tindakan pengangkatan payudara, kondisi tersebut diklasifikasikan sebagai *non mastektomi*, di mana jaringan payudara tetap dipertahankan dan radioterapi difokuskan pada target payudara dan area berisiko terkait.

Pada penelitian ini, teknik radioterapi yang digunakan adalah IMRT dengan parameter utama berupa *structure resolution grid*. Parameter ini digunakan untuk menentukan tingkat ketelitian perhitungan dosis radiasi dalam sistem perencanaan terapi. *Structure resolution grid* merujuk pada ukuran *voxel*, yaitu unit volume terkecil tiga dimensi yang digunakan sistem perencanaan terapi untuk merepresentasikan ruang dan menghitung distribusi dosis radiasi (Ali et al., 2024). Semakin kecil ukuran *voxel*, semakin tinggi resolusi spasial perhitungan dosis yang dihasilkan (Guida et al., 2025). *Grid* dosis dengan ukuran 2.5 mm memiliki dimensi *voxel* sebesar $2.5 \times 2.5 \times 2.5 \text{ mm}^3$ dan umum digunakan dalam praktik klinis karena mampu memberikan perhitungan dosis yang relatif cepat dengan tingkat akurasi yang memadai. Sebaliknya, *grid* dosis 1.25 mm memiliki ukuran *voxel* yang lebih kecil, yaitu $1.25 \times 1.25 \times 1.25 \text{ mm}^3$, sehingga memungkinkan perhitungan dosis yang lebih rinci dan presisi, khususnya pada area dengan gradien dosis yang tajam serta struktur anatomi berukuran kecil. Namun, penggunaan *grid* yang lebih halus memerlukan waktu komputasi yang lebih lama, sehingga pemilihan ukuran *grid* menjadi faktor penting dalam menentukan kualitas dan efisiensi perencanaan IMRT (Pham et al., 2022).

Perbedaan utama antara *grid* 2.5 mm dan 1.25 mm terletak pada ukuran *voxel* yang digunakan. *Grid* 2.5 mm memiliki *voxel* yang lebih besar sehingga menghasilkan resolusi spasial yang lebih kasar, namun mempercepat waktu

komputasi. Sebaliknya, *grid* 1.25 mm menggunakan *voxel* yang lebih kecil sehingga memberikan resolusi spasial yang lebih halus dan detail yang lebih tinggi, tetapi membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama. Dari segi akurasi perhitungan dosis, *grid* 2.5 mm umumnya cukup digunakan pada sebagian besar aplikasi klinis, sedangkan *grid* 1.25 mm menawarkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dan lebih sesuai untuk evaluasi struktur kecil atau area dengan gradien dosis yang tajam, terutama di dekat organ vital (Guida et al., 2025). Perbedaan ukuran *resolution grid* ini dapat menyebabkan variasi nilai parameter dosimetri seperti *Conformity Index* (CI) dan *Homogeneity Index* (HI), serta dosis yang diterima oleh *organ-at-risk* (OAR). CI digunakan untuk mengukur kesesuaian cakupan dosis terhadap volume target, sedangkan HI menggambarkan tingkat keseragaman distribusi dosis dalam PTV (Gaur et al., 2022).

Organ-at-risk merupakan jaringan sehat di sekitar area penyinaran yang harus dilindungi selama radioterapi untuk mencegah terjadinya komplikasi klinis. Pada perencanaan IMRT kanker payudara, OAR yang paling kritis adalah *lung* (ipsilateral dan contralateral) karena berisiko mengalami *pneumonitis* radiasi, (Febrietri, dkk 2020). *Heart* (jantung) yang dapat mengalami *toksitas kardiovaskular* akibat paparan dosis tinggi jangka panjang, serta *spinal cord* sebagai organ *radiosensitif* dengan batas dosis maksimum yang sangat ketat untuk mencegah risiko *mielopati*. Dalam penelitian ini, evaluasi OAR difokuskan pada parameter dosis paru *ipsilateral*, *Lung contralateral*, *heart*, dan *spinal cord*, yang seluruhnya dibandingkan pada dua variasi *structure resolution grid* (2.5 mm dan 1.25 mm) untuk menilai seberapa besar pengaruh perubahan *grid* terhadap akurasi perhitungan dosis dan perlindungan organ sehat.

Hingga saat ini, kajian mengenai pengaruh *structure resolution grid* terhadap kualitas perencanaan IMRT, khususnya pada kasus kanker payudara *post-mastektomi* dan *non-mastektomi*, masih relatif terbatas. Padahal, kedua kelompok pasien tersebut memiliki perbedaan karakteristik anatomi, bentuk dan luas PTV, serta kedekatan target dengan OAR, yang berpotensi memengaruhi *sensitivitas* hasil perhitungan dosimetri terhadap variasi ukuran *grid*. Perbedaan tersebut memungkinkan terjadinya variasi distribusi dosis yang dapat berdampak pada kualitas cakupan target maupun perlindungan organ sehat.

Oleh karena itu, diperlukan evaluasi yang *komprehensif* untuk menilai pengaruh penggunaan *grid* halus 1,25 mm dibandingkan dengan *grid* standar 2,5 mm dalam perencanaan IMRT, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi perencanaan terapi pasien kanker payudara *post dan non-mastektomi* berdasarkan parameter *resolution grid* pada teknik IMRT, melalui analisis nilai *Conformity Index*, *Homogeneity Index*, serta dosis pada organ at risk menggunakan dua variasi ukuran *grid*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dalam pemilihan parameter *grid* yang paling efektif dan efisien dalam perencanaan IMRT, sehingga kualitas terapi dapat dioptimalkan tanpa meningkatkan risiko paparan dosis berlebih pada jaringan sehat.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis nilai PTV pada perencanaan IMRT berdasarkan hasil evaluasi grafik *Dose Volume Histogram* menggunakan struktur *resolution grid* 2.5 mm dan 1.25 mm pada pasien *post-mastektomi* dan *non-mastektomi*
2. Mengevaluasi perbedaan dosis *Organ At-risk* antara struktur *resolution grid* 2.5 mm dan *grid* 1.25 mm pada pasien *post* dan *non mastektomi*.
3. Menganalisis parameter CI dan HI pada hasil distribusi dosis perencanaan IMRT menggunakan struktur *resolution grid* 2.5 mm dan *grid* 1.25 mm

1.3. Manfaat Penelitian

Memberikan kontribusi ilmiah mengenai pengaruh variasi struktur *resolution grid* terhadap kualitas perencanaan IMRT melalui evaluasi CI, HI, dan dosis OAR pada kanker payudara. Hasil penelitian dapat menjadi pertimbangan klinis bagi fisikawan medis dan tim radioterapi dalam memilih ukuran *grid* yang optimal untuk meningkatkan pencapaian dosis pada PTV tanpa meningkatkan dosis pada jaringan sehat. Selain itu, penelitian ini dapat mendukung pengembangan SOP treatment planning di layanan radioterapi serta menambah wawasan dan keterampilan peneliti dalam analisis dosimetri berbasis kurva DVH.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Radioterapi di Rumah Sakit TK II Pelamonia Makassar, yang dilakukan selama 2 bulan dari bulan oktober sampai November tahun 2025.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa data rekam medis pasien kanker payudara *post mastektomi* dan *non mastektomi* dari Rumah Sakit TK II Pelamonia. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah komputer di ruang *treatment planning system* (TPS) yang dilengkapi perangkat lunak perencanaan radioterapi Tipe Varian *Eclipse Calc Workstation*, untuk membuat perencanaan dan Microsoft Excel untuk pengolahan data.



Gambar 1. Komputer TPS

2.3. Metode Penelitian

Data penelitian ini diperoleh dari 10 pasien kanker payudara berjenis kelamin perempuan, terdiri atas 5 pasien *post mastektomi* dan 5 pasien *non mastektomi*, dengan rentang usia 25-75 tahun. Semua pasien menjalani perencanaan radioterapi pada tahun 2024-2025 menggunakan teknik IMRT dengan dosis total 50 Gy yang diberikan dalam 25 *fraksi* (2 Gy perfraksi). Setiap perencanaan menggunakan *konfigurasi gantry* sebanyak 9 arah (9 *beams*) sesuai standar klinis untuk optimasi cakupan target dan perlindungan organ risiko. Pasien yang masuk dalam kriteria penelitian ini adalah pasien yang memiliki data CT simulasi lengkap, tidak memiliki kelainan anatomi ekstrim seperti tidak memiliki tumor yang infiltratif luas dinding dada, serta tidak mengalami gangguan pernapasan berat yang dapat mempengaruhi stabilitas posisi. Pasien dengan data tidak lengkap, artefak gambar signifikan, atau pergeseran posisi besar dikeluarkan dari kriteria pemilihan. Dalam penelitian ini, identitas pasien disamarkan menggunakan inisial, yaitu MI, RI, YT,

RDC dan HN untuk kelompok *post mastektomi*, serta SH, FA, SI, AI dan NI untuk kelompok *non mastektomi*.

Untuk setiap perencanaan pada pasien penelitian ini menggunakan variasi struktur resolusi *grid*, yaitu *grid* normal 2.5 mm dan *grid* fine 1.25 mm. Evaluasi perencanaan dilakukan melalui analisis kurva DVH untuk menilai kualitas cakupan dosis pada target menggunakan parameter *conformity index* (CI) dan *homogeneity Index* (HI), serta menganalisis distribusi dosis pada organ at risk (OAR) meliputi *Lung Ipsilateral*, *Lung Contralateral* (Paru-paru), *Heart* (Jantung) dan *Spinal cord* (Sumsum Tulang Belakang). Seluruh hasil pengukuran kemudian dibandingkan untuk melihat perbedaan kualitas perencanaan berdasarkan variasi *grid* serta perbedaan distribusi dosis antara pasien *post mastektomi* dan *non mastektomi*.

2.3.1 Analisis PTV

Planning Target Volume merupakan volume target perencanaan yang mencakup gross tumor volume (GTV), dan *clinical target volume* (CTV). Berdasarkan rekomendasi ICRU N0. 62, penetapan PTV memiliki peran penting dalam proses perencanaan radioterapi, termasuk pada pasien kanker payudara *post mastektomi* maupun *non mastektomi*, untuk memastikan bahwa dosis radiasi yang diberikan sesuai dengan standar internasional (Wulandari, dkk., 2023).

Table 1. Parameter dan Nilai hasil Pembacaan PTV

Parameter	Nilai/Batasan	Keterangan
Dosis	50 Gy (5000 cGy)	Dosis total perencanaan
PTV 95%	4750 cGy	Batas minimum cakupan PTV
PTV 107%	5350 cGy	Batas maksimal dosis PTV
VPTV	100% volume PTV	Volume target perencanaan
V5350 cGy	<2%	Batas paparan dosis

Tabel 1 menyajikan parameter dosimetri dan nilai batasan yang digunakan dalam PTV pada perencanaan radioterapi. Dosis total perencanaan ditetapkan sebesar 50 Gy (5000 cGy) sebagai dosis resep utama. Batas minimum cakupan PTV ditentukan pada isodose 95%, yang berarti minimal 4750 cGy harus diterima oleh sebagian besar volume target untuk memastikan kecukupan dosis. Sementara itu batas maksimal dosis PTV ditetapkan pada isodose 107% atau setara dengan 5350 cGy yang berfungsi untuk membatasi terjadinya overdosis untuk hotspot di dalam target. Untuk V5350 <2% adalah batasan dosis yang menandakan adanya hotspot ketika melewati 2%.

Pada perhitungan indeks, parameter yang digunakan untuk menentukan CI dan HI meliputi D95% (4750 cGy), D98% (4900 cGy), D2%, dan D50% (2500 cGy). Nilai D98% menggambarkan dosis minimum yang diterima oleh 98% volume PTV

yang mencerminkan kecukupan cakupan dosis, sedangkan D2% menunjukkan dosis maksimum pada 2% volume PTV, dan D50% digunakan sebagai representasi dosis rata-rata dalam target.

Dalam kaitannya dengan parameter-parameter tersebut, penelitian ini menggunakan *Conformity Index* (CI) dan *Homogeneity Index* (HI) sebagai indikator utama untuk menilai kualitas cakupan dan keseragaman dosis pada PTV. Nilai CI dihitung untuk menilai tingkat kesesuaian distribusi dosis radiasi dalam mencakup seluruh volume target kanker. perhitungan CI dilakukan dengan menggunakan persamaan (1), yaitu perbandingan antara volume target yang menerima 95% dosis radiasi V95% dengan total volume PTV, di mana data volume diperoleh dari kurva DVH setiap pasien kanker payudara baik *non mastektomi* dan *post mastektomi* (Husni, dkk., 2021).

$$CI = \frac{V_{95\%}}{V_{PTV}} \quad (1)$$

CI merupakan nilai *Conformity Index* atau tingkat kesesuaian distribusi dosis terhadap volume target. *Treated Volume* adalah volume kanker yang menerima dosis sebesar 95% dari dosis resep (V95%), sedangkan PTV adalah volume target perencanaan yang menjadi acuan dalam memastikan cakupan dosis radiasi.

$$HI = \frac{D2\% - D98\%}{D50\%} \quad (2)$$

HI merupakan nilai *Homogeneity Index* atau keseragaman distribusi dosis dalam volume target D2% adalah dosis yang mencakup 2% volume kanker, D50% adalah dosis yang mencakup 50% volume kanker dan D98% adalah dosis yang mencakup 98% volume kanker (Husni, dkk., 2021).

Nilai HI digunakan untuk mengevaluasi tingkat keragaman distribusi dosis dalam nilai ini dihitung berdasarkan persamaan (2) dengan memperhitungkan dosis radiasi pada 2%, 50%, dan 98% volume target, yang masing-masing mewakili dosis maksimum, median, dan minimum pada PTV. Dengan demikian, CI memberikan gambaran tentang ketepatan cakupan dosis pada target sedangkan HI menggambarkan homogenitas dosis di dalam volume target.

2.3.2 Analisis organ at risk

Analisis dosis OAR pada paru-paru, jantung, dan *spinal cord* dilakukan menggunakan data dari kurva *Dose Volume Histogram* untuk melihat distribusi serta tingkat paparan radiasi pada masing-masing organ.

Table 2. Parameter evaluasi OAR berdasarkan kriteria dosis QUANTEC.

Struktur	Parameter	Objektif
<i>Lung Ipsilateral</i>	V20 Gy	< 30%
<i>Lung Contralateral</i>	V20 Gy	< 30%
<i>Heart</i>	V25 Gy	< 10%
<i>Spinal Cord</i>	D _{max}	50 Gy

Pada tabel 2 menampilkan parameter evaluasi OAR untuk *Lung Ipsilateral* dan *lung contralateral*, parameter yang dinilai adalah dosis pada persentase volume V20 Gy dengan batas toleransi <30 yang bertujuan untuk membatasi persentase volume *lung* yang menerima dosis ≥ 20 Gy guna menurunkan resiko toksisitas *lung* (Rahmawati, dkk.,2023). Untuk *heart*, evaluasi difokuskan pada nilai V25<10% yang berarti hanya 10% volume jantung yang boleh dikenai dosis 25Gy. sebagai indikator penting untuk menilai risiko efek samping *kardiotoksik*, yang selanjutnya dibandingkan dengan standar QUANTEC agar dosis tetap berada dalam rentang aman selama terapi. Sementara itu, pada *spinal cord* analisis dilakukan terhadap dosis maksimum (Dmax) nilai Dmax kemudian dibandingkan dengan batas toleransi klinis untuk mencegah potensi gangguan *neurologis* permanen (Herwiningsih, dkk.,2023).



Gambar 2. Distribusi dosis visualisai OAR

Gambar 2 menunjukkan potongan aksial Perencanaan radioterapi dengan tampilan *dose color wash* yang menggambarkan distribusi dosis radiasi pada daerah toraks pasien pada gambar ini terlihat beberapa organ tubuh yang dikategorikan sebagai organ at-risk atau organ yang dilindungi, yaitu *lung ipsilateral*, *lung contralateral*, *heart* dan *spinal cord*, yang ditandai dengan petunjuk arah

2.4. Bagan Alir Penelitian

