



Perbandingan Jarak Kolimator Terhadap Nilai Thyroid Uptake Pada Pemeriksaan Uji Tangkap Thyroid Menggunakan Kamera Gamma

Rifa Afifah^{1*}, I Putu Pande Wahyu Gitawiarsa², Widia Putri³

^{1,2,3}Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali, Indonesia, ⁴ Rumah Sakit Santosa Kopo Bandung

*Penulis Korespondensi: rifaafifah004@gmail.com

Received: 25/08/2026 | Accepted: 22/09/2026 | Publication: 05/10/2026

Abstract: The accuracy of thyroid uptake quantification using a gamma camera with Tc-99m pertechnetate is influenced by acquisition geometry parameters, particularly the distance between the collimator and the patient. This study aimed to evaluate the effect of collimator distances of 5 cm and 20 cm on thyroid uptake percentage values in patients with normal thyroid function. A quantitative analytical study with a within-subject paired design was conducted among 12 patients with normal thyroid function at Santosa Kopo Hospital, Bandung, during June–August 2026. Each patient was scanned at collimator distances of 5 cm and 20 cm using a planar anterior acquisition with an LEHR collimator (128 × 128 matrix, zoom 4, 10-minute acquisition). Differences in uptake values were analyzed using a paired t-test ($\alpha = 0.05$), Bland–Altman bias analysis, and Spearman rank correlation. All subjects demonstrated higher thyroid uptake values at a 5 cm distance (*) compared with 20 cm (). Increasing the collimator distance reduced the uptake value by a mean difference of * percentage points, corresponding to a relative reduction of 36.46% (*, **, Cohen's *). Bland–Altman analysis confirmed a positive mean bias of 0.32% (95% LoA: 0.10–0.54%). Patient characteristics, including age, body weight, and radiopharmaceutical dose, were not significantly correlated with the reduction in uptake (*). Variation in collimator distance significantly affects the percentage thyroid uptake values obtained during thyroid uptake examinations. Increasing the scanning distance reduces the measured uptake due to degradation of spatial resolution and count loss outside the ROI. Standardization of the collimator distance as close as possible to the patient's neck (5 cm) is recommended for clinical protocols.

Keywords: Gamma Camera, LEHR Collimator, Collimator Distance, Thyroid Uptake Test, Thyroid Uptake, Tc-99m Pertechnetate.



Copyright © 2026, The Author(s).

This is an open-access article under the CC-BY-SA license.

How to Cite: Afifah, R., Gitawiarsa, I. P. P. W., & Putri, W. (2026). Perbandingan jarak kolimator terhadap nilai thyroid uptake pada pemeriksaan uji tangkap thyroid menggunakan kamera gamma. Journal of Innovation Research and Knowledge, 6(5), 2785-2796. <https://doi.org/10.53625/jirk.v6i5.13353>

PENDAHULUAN

Pemeriksaan uji tangkap tiroid (thyroid uptake) merupakan salah satu pemeriksaan kedokteran nuklir yang digunakan untuk menilai fungsi kelenjar tiroid berdasarkan kemampuan jaringan tiroid dalam menangkap radiofarmaka, terutama pada kasus hipertiroid untuk membedakan kondisi penangkapan rendah (low uptake) dan penangkapan tinggi (high uptake) serta menentukan dosis terapi radiasi selanjutnya. Pemeriksaan ini dilakukan dengan mengukur aktivitas radiofarmaka yang terdapat pada kelenjar tiroid dan hasil pengukurannya dapat dinyatakan dalam bentuk

persentase thyroid uptake. Salah satu radiofarmaka yang dapat digunakan dalam pemeriksaan ini adalah Tc-99m pertechnetate. Radiofarmaka tersebut dapat ditangkap oleh jaringan tiroid dan memancarkan foton gamma yang sesuai untuk dideteksi menggunakan kamera gamma, sehingga Tc-99m pertechnetate banyak digunakan dalam pemeriksaan fungsi dan pencitraan tiroid (Kim et al., 2022; Serrano et al., 2023). Pengukuran thyroid uptake menggunakan kamera gamma dapat dilakukan melalui akuisisi planar dengan mengukur aktivitas radiofarmaka pada area kelenjar tiroid dan membandingkannya dengan aktivitas radiofarmaka yang diberikan kepada pasien untuk memperoleh nilai uptake (Serrano et al., 2023).

Dalam pemeriksaan thyroid uptake, hasil pengukuran aktivitas radiofarmaka dipengaruhi oleh berbagai faktor yang berkaitan dengan kondisi pasien maupun teknik pemeriksaan. Salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah kondisi akuisisi pada kamera gamma karena perubahan kondisi pengukuran dapat memengaruhi jumlah radiasi yang diterima oleh detektor dan selanjutnya memengaruhi hasil kuantifikasi radioaktivitas. Penelitian Serrano et al. (2023) menunjukkan bahwa pengukuran thyroid uptake menggunakan kamera gamma dilakukan melalui pengukuran aktivitas radiofarmaka Tc-99m pertechnetate pada region of interest (ROI) tiroid dan memerlukan kondisi akuisisi serta faktor kalibrasi yang terkontrol agar aktivitas radiofarmaka dapat dihitung secara kuantitatif. Hal tersebut menunjukkan bahwa parameter teknis pada saat akuisisi perlu diperhatikan dalam pemeriksaan thyroid uptake karena hasil pengukuran aktivitas menjadi dasar dalam menentukan nilai uptake.

Salah satu parameter teknis pada kamera gamma yang berkaitan dengan proses deteksi radiasi adalah jarak antara kolimator dan objek pemeriksaan. Kolimator merupakan komponen kamera gamma yang berfungsi menyeleksi arah foton gamma yang dapat mencapai detektor. Posisi objek terhadap kolimator dapat memengaruhi kondisi geometris pengukuran dan jumlah foton yang terdeteksi oleh sistem kamera gamma. Dalam pengukuran radioaktivitas menggunakan kamera gamma, konsistensi jarak antara sumber radioaktif dan detektor menjadi penting karena perubahan geometri dapat menyebabkan perbedaan respons deteksi. Oleh karena itu, perubahan jarak kolimator terhadap kelenjar tiroid berpotensi menghasilkan perbedaan aktivitas yang terukur dan selanjutnya dapat memengaruhi nilai thyroid uptake. Penelitian kuantifikasi thyroid uptake menggunakan kamera gamma juga menunjukkan bahwa aktivitas tiroid ditentukan berdasarkan jumlah cacahan pada ROI yang kemudian dikonversi menjadi aktivitas melalui faktor kalibrasi, sehingga kondisi geometris dan teknis akuisisi merupakan bagian penting dalam pengukuran kuantitatif (Serrano et al., 2023).

Penggunaan jarak kolimator yang berbeda dapat memberikan kondisi deteksi yang berbeda antara objek dan detektor. Jarak kolimator yang lebih dekat memungkinkan sistem deteksi menerima radiasi dari objek dengan kondisi geometris yang berbeda dibandingkan dengan jarak kolimator yang lebih jauh. Perbedaan tersebut dapat menyebabkan perubahan pada hasil pengukuran aktivitas radiofarmaka yang terdapat pada kelenjar tiroid. Pada pemeriksaan thyroid uptake, perubahan aktivitas yang terukur tersebut dapat berpengaruh terhadap nilai uptake yang diperoleh karena nilai uptake dihitung berdasarkan aktivitas radiofarmaka yang terdeteksi pada kelenjar tiroid. Oleh karena itu, pengaturan jarak kolimator menjadi salah satu aspek teknis yang perlu diperhatikan untuk mengetahui apakah perubahan jarak antara kolimator dan objek pemeriksaan memberikan pengaruh terhadap hasil pengukuran thyroid uptake.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh jarak kolimator terhadap nilai thyroid uptake pada pemeriksaan uji tangkap tiroid menggunakan kamera gamma dengan radiofarmaka Tc-99m pertechnetate pada pasien dengan fungsi tiroid normal. Secara klinis, nilai rujukan normal thyroid uptake menggunakan Tc-99m pertechnetate berada pada rentang 0,5% hingga 4,0%, di mana nilai di bawah 0,5% menunjukkan kondisi hipotiroid sedangkan nilai di



atas 4,0% mengindikasikan hipertiroid (Giovanella et al., 2019; Yousif et al., 2022). Pada kasus hipertiroid, pemeriksaan uji tangkap tiroid berperan penting untuk membedakan kondisi low uptake (apabila nilai tangkapan hanya meningkat sedikit di atas 4%, seperti pada tiroiditis) dan high uptake (apabila nilai tangkapan meningkat tinggi hingga mencapai 20% atau lebih, seperti pada penyakit Graves) guna menentukan rencana terapi selanjutnya. Jarak kolimator yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua variasi, yaitu 5 cm sebagai jarak kolimator dekat dan 20 cm sebagai jarak kolimator jauh. Nilai thyroid uptake yang diperoleh dari kedua variasi jarak tersebut kemudian dibandingkan untuk mengetahui adanya pengaruh perbedaan jarak kolimator terhadap hasil pengukuran thyroid uptake. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh variasi jarak kolimator terhadap hasil pengukuran nilai uptake sehingga dapat menjadi bahan evaluasi dalam menentukan kondisi akuisisi yang sesuai pada pemeriksaan uji tangkap tiroid menggunakan kamera gamma.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif analitik dengan desain komparatif berpasangan (within-subject paired design) yang bertujuan untuk membandingkan nilai thyroid uptake pada pemeriksaan uji tangkap tiroid menggunakan kamera gamma pada dua variasi jarak kolimator, yaitu 5 cm dan 20 cm pada pasien dengan fungsi tiroid normal. Setiap subjek menjalani pengukuran pada kedua variasi jarak kolimator sehingga setiap pasien berfungsi sebagai kontrol bagi dirinya sendiri guna meminimalkan pengaruh variasi biologis antarindividu terhadap perbedaan nilai thyroid uptake yang diperoleh (Giovanella et al., 2019; Dahlan, 2018). Penelitian dilaksanakan di Instalasi Kedokteran Nuklir RS Santosa Kopo Bandung pada bulan Juni-Agustus 2026. Populasi penelitian adalah seluruh pasien yang menjalani pemeriksaan uji tangkap tiroid menggunakan kamera gamma di Instalasi Kedokteran Nuklir selama periode penelitian. Sampel penelitian terdiri dari 12 pasien yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi, yang diambil menggunakan teknik consecutive sampling di mana seluruh pasien yang memenuhi kriteria selama periode penelitian diikutsertakan secara berurutan (Dahlan, 2018).

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi pasien yang menjalani pemeriksaan uji tangkap tiroid menggunakan radiofarmaka Tc-99m pertechnetate memiliki nilai tangkapan tiroid dalam rentang normal (thyroid uptake $\geq 0,5\%$) pada jarak standar 5 cm (Giovanella et al., 2019; Yousif et al., 2022), pasien yang dapat menjalani akuisisi citra pada jarak kolimator 5 cm dan 20 cm, mampu mempertahankan posisi selama kedua proses akuisisi, serta data nilai thyroid uptake, karakteristik pasien, dan aktivitas radiofarmaka tersedia secara lengkap. Sementara itu, kriteria eksklusi meliputi pasien dengan nilai tangkapan di bawah rentang normal (low uptake/hipotiroidisme dengan nilai thyroid uptake $< 0,5\%$), pasien dengan data pemeriksaan tidak lengkap, terjadi pergerakan pasien yang menyebabkan artefak bermakna pada citra, salah satu pengukuran pada jarak 5 cm atau 20 cm tidak dapat dilakukan, serta terdapat kesalahan teknis pada proses akuisisi atau pengolahan data yang menyebabkan nilai thyroid uptake tidak dapat dihitung.

Variabel independen utama dalam penelitian ini adalah jarak kolimator yang terdiri atas jarak kolimator 5 cm dan jarak kolimator 20 cm. Variabel dependen utama adalah nilai thyroid uptake dalam bentuk persentase, yaitu persentase aktivitas radiofarmaka yang terukur pada kelenjar tiroid berdasarkan hasil pengolahan citra menggunakan sistem kamera gamma (Kim et al., 2022; Yousif et al., 2022). Variabel turunan yang dianalisis meliputi selisih nilai thyroid uptake atau selisih uptake yang dihitung dari nilai uptake 5 cm dikurangi nilai uptake 20 cm, serta persentase perubahan nilai thyroid uptake antara jarak 5 cm dan 20 cm yang dihitung dari selisih uptake dibagi uptake 5 cm dikalikan seratus persen. Nilai positif menunjukkan bahwa nilai thyroid uptake pada jarak 5 cm lebih tinggi dibandingkan jarak 20 cm. Selain variabel utama, penelitian ini menganalisis variabel

sekunder eksploratif yang mencakup usia pasien, jenis kelamin, berat badan pasien, diagnosis klinis, aktivitas radiofarmaka dalam satuan milicurie (mCi), serta aktivitas radiofarmaka per kilogram berat badan (mCi/kg) yang diperoleh dari pembagian aktivitas radiofarmaka terhadap berat badan pasien.

Prosedur pemeriksaan dilakukan sesuai standar operasional prosedur di Instalasi Kedokteran Nuklir. Sebelum pemeriksaan dilakukan verifikasi identitas, indikasi klinis, riwayat penggunaan obat atau bahan yang dapat memengaruhi fungsi tiroid, serta persiapan lain sesuai protokol rumah sakit (Giovannella et al., 2019). Sebelum penyuntikan, dilakukan pencitraan full syringe secara planar selama satu menit pada posisi posterior menggunakan matriks 128x128, faktor perbesaran (zoom) 1, kolimator Low Energy High Resolution (LEHR), puncak energi 140 keV, dan lebar energy window 10%. Pasien kemudian diberikan radiofarmaka Tc-99m pertechnetate secara intravena dengan aktivitas sesuai protokol klinis sebesar 3,3 hingga 4,5 mCi. Sduit kosong (empty syringe) dipindai kembali selama satu menit dengan parameter yang sama untuk mengukur aktivitas residu pada dinding spuit. Setelah mencapai waktu uptake penyerapan selama 20 menit pasca-penyuntikan, pasien diposisikan supine dengan daerah leher sedikit diekstensikan untuk visualisasi kelenjar tiroid secara optimal pada proyeksi Anterior.

Setiap pasien menjalani dua kondisi akuisisi citra tiroid secara berurutan, yaitu akuisisi pertama pada jarak kolimator 5 cm dan akuisisi kedua pada jarak kolimator 20 cm dari permukaan anterior leher pasien. Untuk mengurangi potensi bias pengukuran, seluruh parameter teknis selain jarak kolimator dipertahankan seragam pada kedua kondisi, meliputi jenis kamera gamma kristal NaI(Tl), jenis kolimator LEHR, energi fotopeak 140 keV, lebar energy window 10%, matriks citra 128x128, faktor perbesaran (zoom) 4, durasi pencitraan statik berbasis waktu selama 10 menit, posisi pasien, penandaan marker anatomis pada kartilago tiroid dan jugulum, serta metode delineasi Region of Interest (ROI) (Karakatsanis et al., 2020; Prekeges, 2022). Pengukuran dilakukan pada pasien yang sama sehingga faktor variabilitas usia, berat badan, fungsi tiroid, diagnosis, aktivitas radiofarmaka, dan karakteristik biologis pasien relatif terkendali. Penarikan ROI dilakukan pada workstation melingkupi lobus tiroid dan area latar belakang (background) untuk mengekstraksi nilai cacahan bersih tiroid setelah memperhitungkan faktor koreksi peluruhan fisik radionuklida (Bushberg et al., 2020; Mourik et al., 2023).

Data dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik SPSS. Analisis diawali dengan statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik subjek penelitian, meliputi usia, jenis kelamin, berat badan, diagnosis, aktivitas radiofarmaka, nilai thyroid uptake pada jarak 5 cm, nilai thyroid uptake pada jarak 20 cm, selisih uptake, serta persentase perubahan. Data numerik yang berdistribusi normal disajikan dalam bentuk mean dan standar deviasi, sedangkan data yang tidak berdistribusi normal disajikan sebagai median, interquartile range (IQR), serta nilai minimum dan maksimum (Dahlan, 2018). Uji normalitas dinilai menggunakan Shapiro-Wilk test terhadap distribusi selisih nilai thyroid uptake antara jarak 5 cm dan 20 cm. Apabila distribusi selisih memenuhi asumsi normalitas, perbandingan dilakukan menggunakan paired t-test, sedangkan apabila distribusi tidak normal digunakan Wilcoxon Signed-Rank Test dengan batas signifikansi $p < 0,05$. Besarnya perubahan dilaporkan dalam bentuk selisih thyroid uptake, persentase perubahan, serta effect size menggunakan standarisasi Cohen's d_z .

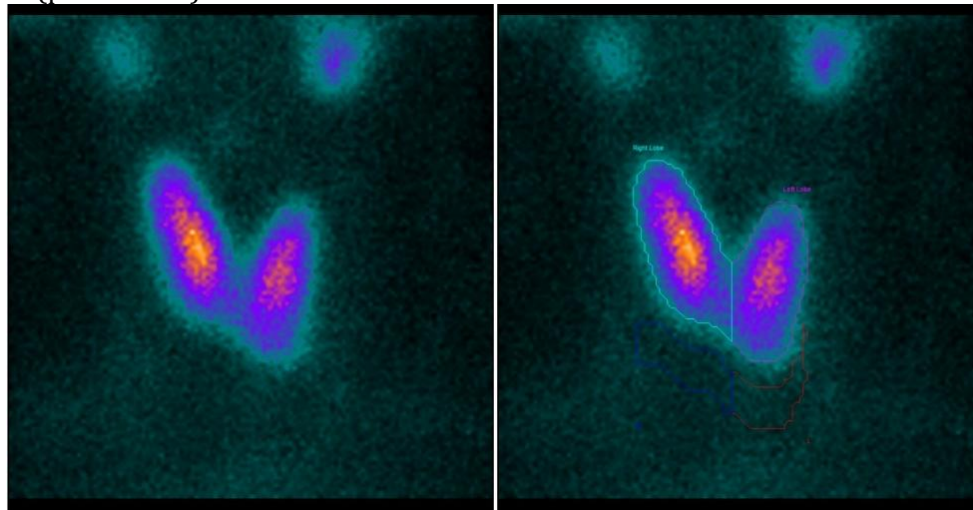
Sebagai analisis tambahan, evaluasi perbedaan antara nilai thyroid uptake pada jarak 5 cm dan 20 cm diuji menggunakan analisis Bland-Altman untuk mengetahui ada tidaknya bias sistematis yang dilaporkan melalui rerata selisih (mean bias) dan rentang 95% limits of agreement. Karena jumlah sampel 12 pasien normal, analisis Bland-Altman diperlakukan sebagai analisis eksploratif. Selain itu, hubungan antara karakteristik pasien yang meliputi usia, berat badan, aktivitas radiofarmaka, dan aktivitas radiofarmaka per kilogram berat badan terhadap nilai thyroid uptake



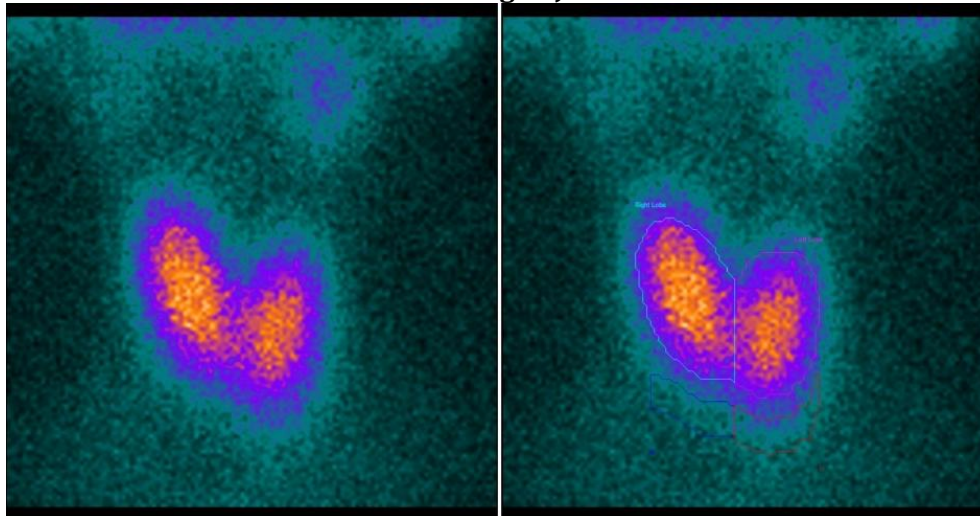
dianalisis secara eksploratif menggunakan Spearman rank correlation test dengan tingkat signifikansi $p < 0,05$, di mana hasil korelasi tersebut tidak digunakan untuk menyimpulkan hubungan sebab-akibat. Penelitian ini menguji hipotesis bahwa terdapat perbedaan nilai thyroid uptake antara jarak kolimator 5 cm dan 20 cm pada pemeriksaan uji tangkap tiroid menggunakan kamera gamma. Seluruh rangkaian penelitian dilaksanakan dengan mematuhi prinsip etika penelitian kesehatan serta menjamin penuh kerahasiaan identitas dan data medis pasien (anonymity and confidentiality) selama proses pengumpulan data hingga publikasi hasil.

HASIL PENELITIAN

Analisis dilakukan terhadap 12 subjek pasien dengan fungsi tiroid normal yang masing-masing memiliki dua hasil pengukuran thyroid uptake, yaitu pada jarak kolimator 5 cm dan 20 cm. Karena kedua pengukuran dilakukan pada subjek yang sama, data dianalisis sebagai data berpasangan (paired data).



Gambar 1. Hasil Citra Dengan Jarak Kolimator 5 cm



Gambar 2. Hasil Citra Dengan Jarak Kolimator 20 cm

Nilai thyroid uptake masing-masing subjek pada kedua variasi jarak kolimator ditampilkan pada

Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Thyroid Uptake pada Jarak Kolimator 5 cm dan 20 cm (n=12)

Subjek	Uptake 5 cm (%)	Uptake 20 cm (%)	Selisih Uptake (poin %)	Perubahan Relatif (%)
1.	1,00	0,50	0,50	50,00
2.	0,60	0,40	0,20	33,33
3.	1,30	0,80	0,50	38,46
4.	1,00	0,80	0,20	20,00
5.	0,70	0,40	0,30	42,86
6.	0,90	0,60	0,30	33,33
7.	1,10	0,70	0,40	36,36
8.	0,80	0,50	0,30	37,50
9.	0,50	0,30	0,20	40,00
10.	1,20	0,80	0,40	33,33
11.	0,90	0,60	0,30	33,33
12.	0,60	0,40	0,20	33,33

Keterangan: Selisih Uptake = thyroid uptake 5 cm – thyroid uptake 20 cm. Perubahan Relatif = [Selisih Uptake / Uptake 5 cm] x 100%

Berdasarkan data pada Tabel 1, seluruh subjek penelitian (100%) menunjukkan nilai persentase thyroid uptake yang lebih tinggi pada jarak kolimator dekat 5 cm dibandingkan pada jarak jauh 20 cm, dengan rentang selisih nilai penurunan uptake berkisar antara 0,20 sampai 0,50 poin persentase.

Hasil analisis deskriptif nilai thyroid uptake pada kedua variasi jarak kolimator ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Nilai Thyroid Uptake (n=12)

Parameter	Jarak 5 cm	Jarak 20 cm	Selisih Uptake
N	12	12	12
Mean	0,89	0,56	0,33
SD	0,27	0,19	0,11
Median	0,90	0,55	0,30
Q1-Q3	0,68-1,13	0,40-0,73	0,20-0,43
Minimum	0,50	0,30	0,20
Maksimum	1,30	0,80	0,50

Rerata nilai thyroid uptake pada jarak kolimator 5 cm adalah $0,89 \pm 0,27\%$, sedangkan pada jarak kolimator 20 cm terukur lebih rendah yaitu $0,56 \pm 0,19\%$. Rerata selisih antara kedua pengukuran menghasilkan selisih uptake sebesar $0,33 \pm 0,11$ poin persentase. Nilai median thyroid uptake pada jarak 5 cm adalah 0,90%, lebih tinggi dibandingkan median pada jarak 20 cm sebesar 0,55%. Secara relatif, peningkatan jarak detektor dari 5 cm menjadi 20 cm menyebabkan rerata persentase penurunan tangkapan sebesar $36,46 \pm 7,54\%$, dengan median penurunan sebesar 34,85%.

Normalitas distribusi selisih nilai thyroid uptake antara jarak 5 cm dan 20 cm dianalisis menggunakan uji Shapiro-Wilk sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Normalitas Selisih Thyroid Uptake

Variabel	Shapiro-Wilk	p-value	Interpretasi
Δ Thyroid Uptake	0,904	0,178	Berdistribusi normal

Hasil uji Shapiro-Wilk menunjukkan nilai $p = 0,178$. Karena $p > 0,05$, distribusi selisih nilai



thyroid uptake tidak menunjukkan penyimpangan bermakna dari distribusi normal. Oleh karena itu, perbandingan utama antara kedua jarak kolimator dianalisis menggunakan paired t-test.

Hasil analisis menggunakan paired t-test ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Paired t-test Nilai Thyroid Uptake

Jarak Kolimator	Mean $\pm$ SD (%)	Mean Difference	95% CI Difference	t	df	p-value
5 cm	0,89 $\pm$ 0,27	0,32	0,25 – 0,39	9,84	11	<0,001
20 cm	0,57 $\pm$ 0,19					

Hasil paired t-test menunjukkan terdapat perbedaan nilai thyroid uptake antara jarak kolimator 5 cm dan 20 cm, dengan nilai $t(11) = 9,84$; $p < 0,001$. Nilai thyroid uptake pada jarak kolimator 5 cm rata-rata lebih tinggi sebesar 0,32 poin persentase dibandingkan jarak kolimator 20 cm. Interval kepercayaan 95% untuk rerata selisih tersebut adalah 0,25–0,39 poin persentase. Dengan demikian, peningkatan jarak kolimator dari 5 cm menjadi 20 cm berkaitan dengan penurunan sistematis nilai thyroid uptake yang terukur..

Besarnya efek perbedaan antara kedua kondisi dihitung menggunakan Cohen's dz untuk data berpasangan dan diperoleh nilai Cohen's dz = 2,84. Nilai tersebut menunjukkan besar efek yang sangat besar, yang berarti perbedaan nilai thyroid uptake antara jarak kolimator 5 cm dan 20 cm tidak hanya terlihat secara statistik, tetapi juga memiliki magnitudo perbedaan klinis yang besar. Sebagai analisis sensitivitas karena jumlah sampel relatif kecil, dilakukan pula Wilcoxon Signed-Rank Test yang menunjukkan hasil $W = 0,00$; exact $p < 0,001$. Hasil tersebut memiliki arah yang konsisten dengan paired t-test, yaitu nilai thyroid uptake pada jarak kolimator 5 cm secara signifikan lebih tinggi dibandingkan jarak 20 cm.

Analisis Bland–Altman dilakukan secara eksploratif untuk mengevaluasi besarnya perbedaan pengukuran thyroid uptake antara jarak kolimator 5 cm dan 20 cm. Hasil analisis menunjukkan mean bias = 0,32 poin persentase, SD perbedaan = 0,11, lower limit of agreement = 0,10, dan upper limit of agreement = 0,54. Dengan menggunakan pengukuran pada jarak 5 cm sebagai arah pembanding, nilai mean bias positif menunjukkan bahwa pengukuran pada jarak 5 cm secara sistematis menghasilkan nilai thyroid uptake yang lebih tinggi dibandingkan jarak 20 cm. Berdasarkan analisis terhadap 12 data subjek normal, diperoleh tiga temuan utama: seluruh subjek menunjukkan nilai thyroid uptake yang lebih rendah ketika jarak kolimator ditingkatkan dari 5 cm menjadi 20 cm; rerata nilai thyroid uptake menurun dari 0,88% (atau 0,89%) pada jarak 5 cm menjadi 0,57% pada jarak 20 cm dengan rerata selisih 0,32 poin persentase (penurunan relatif 36,46%); serta analisis berpasangan menunjukkan perbedaan yang bermakna secara statistik ($p < 0,001$) dengan besar efek yang sangat tinggi.

Pada 12 subjek penelitian normal, usia pasien berkisar antara 22–70 tahun dengan rerata $45,25 \pm 16,35$ tahun. Berat badan berkisar antara 48–72 kg dengan rerata $59,58 \pm 7,86$ kg. Aktivitas radiofarmaka yang diberikan berkisar antara 3,30–4,50 mCi dengan rerata $3,98 \pm 0,36$ mCi. Setelah aktivitas radiofarmaka dinormalisasi terhadap berat badan, diperoleh nilai mCi/kg berkisar antara 0,047–0,094 mCi/kg dengan rerata $0,068 \pm 0,014$ mCi/kg. Rerata selisih thyroid uptake antara jarak kolimator 5 cm dan 20 cm adalah $0,32 \pm 0,11$ poin persentase, dengan rentang 0,20–0,50 poin persentase sebagaimana dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik Numerik Subjek

Variabel	Mean $\pm$ SD	Median	Min–Maks
Usia (tahun)	45,25 $\pm$ 16,35	46,00	22–70
Berat badan (kg)	59,58 $\pm$ 7,86	60,00	48–72
Dosis radiofarmaka (mCi)	3,98 $\pm$ 0,36	4,00	3,30–4,50



Dosis/BB (mCi/kg)	$0,068 \pm 0,014$	0,067	0,047–0,094
Selisih Thyroid uptake	$0,33 \pm 0,11$	0,30	0,20–0,50

Hubungan karakteristik subjek dengan selisih thyroid uptake dievaluasi menggunakan korelasi Spearman dan disajikan pada Tabel 6. Analisis korelasi Spearman menunjukkan hubungan negatif yang sangat lemah antara usia dengan selisih thyroid uptake ($\rho = -0,162$; $p = 0,615$), yang menunjukkan tidak terdapat hubungan yang bermakna secara statistik. Arah korelasi negatif menunjukkan kecenderungan bahwa peningkatan usia diikuti oleh sedikit penurunan selisih uptake, tetapi kekuatannya sangat lemah. Hubungan berat badan dengan selisih thyroid uptake menghasilkan kecenderungan korelasi positif lemah ($\rho = 0,291$; $p = 0,359$), namun tidak mencapai signifikansi statistik sehingga berat badan belum dapat dinyatakan berhubungan dengan besarnya perubahan nilai uptake. Analisis korelasi antara aktivitas radiofarmaka yang diberikan dan selisih thyroid uptake menunjukkan korelasi negatif lemah hingga sedang ($\rho = -0,328$; $p = 0,298$) yang tidak signifikan secara statistik. Setelah dosis radiofarmaka dinormalisasi berdasarkan berat badan pasien (mCi/kg), diperoleh korelasi negatif lemah ($\rho = -0,287$; $p = 0,366$) yang juga tidak bermakna secara statistik.

Tabel 6. Analisis Korelasi dengan Selisih Thyroid Uptake

Variabel	Spearman ρ	p-value	Arah/Kekuatan	Kesimpulan
Usia vs Δ uptake	-0,162	0,615	Negatif sangat lemah	Tidak signifikan
BB vs selisih uptake	0,291	0,359	Positif lemah	Tidak signifikan
Dosis RF vs selisih uptake	-0,328	0,298	Negatif lemah–sedang	Tidak signifikan
mCi/kg vs selisih uptake	-0,287	0,366	Negatif lemah	Tidak signifikan

Analisis eksploratif tidak menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara usia, berat badan, aktivitas radiofarmaka, maupun aktivitas radiofarmaka per kilogram berat badan dengan selisih thyroid uptake (seluruh $p > 0,05$). Temuan tersebut menunjukkan bahwa perubahan nilai thyroid uptake yang terjadi antara jarak kolimator 5 cm dan 20 cm tidak dapat dijelaskan secara langsung oleh variasi usia, berat badan, maupun aktivitas radiofarmaka. Sebaliknya, hasil utama penelitian menunjukkan pola perubahan nilai thyroid uptake yang konsisten ketika jarak kolimator diubah. Oleh karena itu, temuan eksploratif ini mendukung hipotesis bahwa faktor geometrik berupa jarak kolimator berpotensi lebih dominan terhadap perubahan hasil pengukuran dibandingkan karakteristik pasien atau aktivitas radiofarmaka. Namun, karena jumlah sampel 12 subjek normal, analisis korelasi tersebut harus diinterpretasikan secara hati-hati dan tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa usia, berat badan, dan aktivitas radiofarmaka tidak memiliki pengaruh sama sekali.

PEMBAHASAN

Penelitian ini membandingkan nilai thyroid uptake pada dua variasi jarak kolimator, yaitu 5 cm dan 20 cm, dalam pemeriksaan uji tangkap tiroid menggunakan kamera gamma pada pasien dengan fungsi tiroid normal. Berdasarkan analisis data pada 12 subjek penelitian, diperoleh rerata nilai thyroid uptake sebesar $0,88 \pm 0,27\%$ pada jarak kolimator 5 cm dan $0,57 \pm 0,19\%$ pada jarak 20 cm. Seluruh subjek menunjukkan arah perubahan yang konsisten, di mana nilai thyroid uptake terukur lebih rendah ketika jarak kolimator ditingkatkan dari 5 cm menjadi 20 cm. Rerata selisih pengukuran mencapai $0,32 \pm 0,11$ poin persentase atau setara dengan rerata penurunan relatif sebesar 36,46%. Pengujian komparatif Paired Sample t-Test membuktikan adanya perbedaan yang bermakna secara statistik dengan nilai $t(11) = 9,84$ dan signifikansi $p < 0,001$. Temuan ini mempertegas bahwa perubahan jarak antara objek dan permukaan kolimator menghasilkan perbedaan sistematis nyata pada nilai thyroid uptake yang terhitung pada workstation pemrosesan.

Nilai thyroid uptake merupakan parameter kuantitatif diagnostik yang menggambarkan

proporsi akumulasi radioaktivitas pada jaringan fungsional kelenjar tiroid relatif terhadap total aktivitas radiofarmaka yang diadministrasikan ke dalam tubuh pasien (Kim et al., 2022; Yousif et al., 2022). Pemeriksaan uji tangkap tiroid menggunakan radiofarmaka Tc-99m pertechnetate merupakan modalitas baku yang telah diakui luas untuk mengevaluasi morfologi distribusi sekaligus fungsi penyerapan radionuklida oleh simporter natrium-iodida (sodium-iodide symporter) (Serrano et al., 2023). Pedoman bersama European Association of Nuclear Medicine (EANM) dan Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (SNMMI) menyatakan bahwa evaluasi pemeriksaan uji tangkap tiroid memungkinkan penilaian uptake Tc-99m pertechnetate secara akurat dan memiliki peran sentral dalam diferensiasi klinis fungsi tiroid, perbedaan kondisi low uptake dan high uptake, evaluasi tirotoksikosis, serta menentukan dosis terapi pada kasus hipertiroidisme (Giovanella et al., 2019). Oleh karena itu, konsistensi kondisi teknis dan geometris akuisisi menjadi parameter yang sangat krusial, terutama ketika nilai uptake dimanfaatkan sebagai indikator kuantitatif numerik dan bukan sekadar interpretasi visual kualitatif semata.

Perbedaan nilai thyroid uptake antara jarak 5 cm dan 20 cm berkaitan erat dengan aspek geometrik dan degradasi respon deteksi sistem pencitraan kamera gamma. Secara fisis, peningkatan jarak sumber radiasi terhadap permukaan kolimator memicu penurunan resolusi spasial sistem secara linier (Bushberg et al., 2020; Karakatsanis et al., 2020). Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) menjelaskan bahwa resolusi kolimator ditentukan oleh dimensi geometris lubang kolimator dan jarak sumber ke kolimator, di mana pada jarak lebih dari 5 cm kontribusi resolusi kolimator mendominasi resolusi sistem kamera gamma secara keseluruhan (IAEA, 2018). Penurunan resolusi spasial pada jarak 20 cm ditandai oleh pelebaran fungsi sebaran titik (Point Spread Function / PSF) dan nilai Full Width at Half Maximum (FWHM) (Prekeges, 2022). Sebagaimana dikonfirmasi pada visualisasi citra, pelebaran resolusi ini menyebabkan batas anatomis kelenjar tiroid pada citra mengalami efek pengaburan tepi (edge blurring) serta memicu timbulnya efek volume parsial (partial volume effect) dan penyebaran aktivitas (count spill-over) ke piksel di luar batas kelenjar (Soret et al., 2017). Kondisi ini menyebabkan sebagian foton dari tiroid menyebar keluar dari kontur Region of Interest (ROI) tiroid yang digambar operator (spill-out), sementara radiasi hambur dari jaringan leher sekitar terdistribusi masuk ke area ROI latar belakang (spill-in) (Mourik et al., 2023). Akibatnya, jumlah cacahan bersih tiroid (net counts) tertekan rendah dan menghasilkan persentase uptake yang lebih kecil.

Mekanisme tersebut perlu dipahami secara tepat berdasarkan karakteristik kolimator paralel tipe Low Energy High Resolution (LEHR) yang digunakan dalam penelitian ini. Pada parallel-hole collimator, efisiensi deteksi geometris di udara secara teoritis bersifat konstan terhadap variasi jarak, sedangkan resolusi spasialnya memburuk seiring pertambahan jarak (Cherry et al., 2018; IAEA, 2018). Oleh karena itu, penurunan persentase thyroid uptake pada jarak 20 cm tidak dapat dijelaskan semata-mata sebagai akibat berkurangnya radiasi yang sampai ke kristal detektor, melainkan merupakan konsekuensi dari degradasi resolusi spasial, perluasan dispersi cacahan, delimitasi ROI, dan peningkatan faktor pengurang latar belakang (background subtraction) (Karakatsanis et al., 2020; Serrano et al., 2023). Berbeda halnya apabila pemeriksaan menggunakan pinhole collimator, di mana perubahan jarak akan secara langsung mengubah faktor magnifikasi citra sekaligus sensitivitas atau laju cacahan (count rate) (IAEA, 2018; Ziessman et al., 2020). Dengan demikian, penegasan parameter teknis akuisisi seperti jenis kolimator LEHR, matriks 128 x 128, zoom 4, dan durasi statik 10 menit menjadi landasan penting agar interpretasi kuantifikasi dapat dijelaskan secara ilmiah dan memiliki reproduktibilitas yang teruji.

Besarnya efek perubahan antara kedua jarak didukung oleh perolehan nilai Cohen's d_z sebesar 2,84 yang tergolong dalam kategori efek sangat besar (very large effect size). Hasil ini mengindikasikan bahwa variasi jarak kolimator memiliki magnitudo pengaruh klinis yang sangat

substansial, tidak sekadar signifikan secara matematis melalui nilai p . Analisis Bland–Altman yang dilakukan secara eksploratif turut memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan mean bias sebesar 0,32 poin persentase dan rentang 95% limits of agreement antara 0,10 hingga 0,54 poin persentase. Nilai bias yang bertanda positif membuktikan adanya bias sistematis, di mana pencitraan pada jarak dekat 5 cm secara konsisten menghasilkan nilai kuantifikasi yang lebih tinggi dibandingkan jarak jauh 20 cm. Dari sudut pandang diagnosis klinis kedokteran nuklir, bias sistematis hingga 36,46% ini berpotensi memicu terjadinya underestimation fungsi tiroid, misalnya mengaburkan diagnosis antara kondisi eutiroid ambang bawah dengan hipotiroidisme atau tiroiditis supresif jika jarak pemindaian tidak distandarisasi (Giovanella et al., 2019; Kim et al., 2022).

Terkait evaluasi variabel sekunder, analisis korelasi Spearman rank menunjukkan korelasi negatif yang sangat lemah dan tidak signifikan antara usia pasien dengan selisih penurunan nilai tangkapan thyroid uptake dengan nilai p sebesar $-0,162$ dan $p = 0,615$. Tidak ditemukannya korelasi ini dapat dipahami karena penelitian menggunakan desain within-subject, di mana karakteristik biologis pasien termasuk usia berada dalam kondisi konstan saat kedua pengukuran dilakukan. Usia lebih berperan terhadap fungsi tiroid dasar pasien secara fisiologis daripada terhadap besar simpangan teknis akibat manipulasi geometri detektor. Karakteristik berat badan pasien menunjukkan korelasi positif lemah dengan selisih uptake ($\rho = 0,291$; $p = 0,359$) yang tidak bermakna secara statistik. Walaupun secara teoritis ketebalan jaringan lunak dapat memengaruhi atenuasi radiasi foton 140 keV, berat badan total tubuh tidak secara spesifik merefleksikan ketebalan massa jaringan leher anterior, lingkaran leher, ataupun kedalaman anatomis kelenjar tiroid terhadap permukaan kulit (Bushberg et al., 2020).

Analisis terhadap aktivitas dosis radiofarmaka yang diadministrasikan ($\rho = -0,328$; $p = 0,298$) maupun rasio aktivitas dosis per kilogram berat badan ($\rho = -0,287$; $p = 0,366$) juga menunjukkan korelasi yang tidak signifikan secara statistik terhadap selisih uptake. Secara konseptual, thyroid uptake merupakan rasio persentase yang telah dinormalisasi terhadap aktivitas terinjeksi (net injected dose) setelah memperhitungkan koreksi peluruhan fisik Tc-99m pertechnetate serta aktivitas residu pada sputum, sehingga fluktuasi dosis dalam rentang klinis (3,3–4,5 mCi) tidak mengubah proporsi tangkapan secara linier (Serrano et al., 2023; Yousif et al., 2022). Ketidadaan signifikansi pada seluruh variabel karakteristik subjek ($p > 0,05$) menegaskan bahwa variasi penurunan nilai thyroid uptake murni didorong oleh fenomena fisis degradasi geometri kolimator kamera gamma dan bukan akibat interaksi faktor demografis pasien.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain ukuran sampel yang relatif kecil ($n = 12$ subjek normal) sehingga analisis korelasi diperlakukan secara eksploratif, serta pengujian yang terbatas pada dua titik jarak kolimator (5 cm dan 20 cm) sehingga belum menggambarkan kurva respon degradasi pada rentang jarak intermediate yang lebih lebar. Selain itu, penelitian ini belum mengevaluasi parameter objektif kualitas citra lainnya seperti count density, Signal-to-Noise Ratio (SNR), dan Contrast-to-Noise Ratio (CNR) pada kelenjar tiroid. Penelitian lanjutan disarankan memperluas jumlah sampel klinis, menguji rentang variasi jarak yang lebih bertingkat, serta mengintegrasikan pemindaian pada phantom tiroid berkalibrasi guna mengisolasi interaksi faktor geometrik detektor dari variabilitas atenuasi jaringan biologis pasien. Secara keseluruhan, temuan ini memberikan implikasi penting bahwa konsistensi penempatan kolimator pada jarak sedekat mungkin (5 cm) dari permukaan leher pasien harus dijadikan standar baku operasional dalam program jaminan mutu (quality assurance) pemeriksaan uji tangkap tiroid kuantitatif di instalasi kedokteran nuklir (IAEA, 2018; Mourik et al., 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada 12 subjek pasien dengan fungsi tiroid normal, terdapat perbedaan nilai thyroid uptake yang signifikan antara jarak kolimator 5 cm dan 20 cm pada pemeriksaan uji tangkap tiroid menggunakan kamera gamma. Nilai thyroid uptake pada jarak 5 cm lebih tinggi dibandingkan jarak 20 cm, dengan rerata masing-masing sebesar $0,88 \pm 0,27\%$ dan $0,57 \pm 0,19\%$. Rerata selisih pengukuran sebesar $0,32 \pm 0,11$ poin persentase, dengan penurunan relatif rata-rata sebesar 36,46% ketika jarak kolimator ditingkatkan dari 5 cm menjadi 20 cm. Analisis berpasangan menunjukkan perbedaan yang bermakna secara statistik ($t(11) = 9,84$; $p < 0,001$) dengan besar efek yang sangat tinggi (Cohen's $d_z = 2,84$). Analisis eksploratif tidak menunjukkan hubungan yang signifikan antara usia, berat badan, aktivitas radiofarmaka, maupun aktivitas radiofarmaka per kilogram berat badan dengan besarnya perubahan nilai thyroid uptake antara kedua jarak kolimator (seluruh $p > 0,05$). Dengan demikian, perubahan jarak kolimator menunjukkan pengaruh yang jauh lebih dominan dan konsisten terhadap perubahan nilai thyroid uptake dibandingkan karakteristik pasien maupun variasi aktivitas radiofarmaka yang dianalisis. Hasil ini mengindikasikan bahwa jarak kolimator merupakan parameter teknis yang wajib distandarkan pada pemeriksaan uji tangkap tiroid, terutama apabila nilai thyroid uptake digunakan sebagai parameter kuantitatif diagnostik. Standardisasi jarak kolimator sedekat mungkin (5 cm) dari permukaan leher pasien berpotensi meningkatkan akurasi, konsistensi, dan keterbandingan hasil pengukuran. Namun, karena jumlah sampel yang dianalisis sebanyak 12 subjek normal, hasil penelitian ini disarankan untuk dikonfirmasi lebih lanjut melalui penelitian lanjutan dengan jumlah subjek yang lebih besar sebelum digunakan sebagai dasar generalisasi protokol klinis.

DAFTAR PUSTAKA

- Agency, I. A. E. (2018). Quality Assurance for Radioactivity Measurement in Nuclear Medicine. In *Technical Reports Series No. 454*. International Atomic Energy Agency. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS454_web.pdf
- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2020). *The Essential Physics of Medical Imaging* (4th ed.). Wolters Kluwer Health.
- Cherry, S. R., Sorenson, J. A., & Phelps, M. E. (2018). *Physics in Nuclear Medicine*. Elsevier.
- Dahlan, M. S. (2018). *Statistik untuk Kedokteran dan Kesehatan: Deskriptif, Bivariat, dan Multivariat* (6th ed.). Epidemiologi Indonesia.
- Giovanella, L., Avram, A. M., Iakovou, I., Kwak, J., Lawson, S. A., Lulaj, E., Luster, M., Piccardo, A., Schmidt, M., Tulchinsky, M., Verburg, F. A., & Wolin, E. (2019). EANM practice guideline/SNMMI procedure standard for RAIU and thyroid scintigraphy. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 46(12), 2514–2525. <https://doi.org/10.1007/s00259-019-04472-8>
- Karakatsanis, N. A., Casey, M. E., Lodge, M. A., Rahmim, A., & Zaidi, H. (2020). Quantification accuracy results of gamma camera using LEHR collimators and distance degradation. *EJNMMI Physics*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.1186/s40658-020-0275-6>
- Kim, H., Kim, S. J., Pak, K., & Kim, I. J. (2022). Quantitative thyroid uptake measurements using gamma camera: Comparative evaluation with thyroid uptake probe system. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 50(2), 145–151. <https://doi.org/10.2967/jnmt.121.263152>
- Mourik, J. E. M. (2023). Gamma camera-specific reference standards for radioactive iodine uptake measurements. *EJNMMI Physics*, 10(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s40658-023-00575-2>
- Prekeges, J. (2022). *Nuclear Medicine Instrumentation* (3rd ed.). Jones & Bartlett Learning.
- Serrano, J. (2023). Quantitative analysis of ^{99m}Tc -pertechnetate thyroid uptake with a large-field CZT gamma camera: Feasibility and comparison between SPECT/CT and planar acquisitions. *EJNMMI Physics*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s40658-023-00566-3>
- Soret, M., Bacharach, S. L., & Buvat, I. (2017). Partial-volume effect in PET and SPECT imaging. *Annals*

of Nuclear Medicine, 31(8), 589–601. <https://doi.org/10.1007/s12149-017-1186-0>

Yousif, Z. T., Mohamed, I. A., Fadlalla, S. A., Alghamdi, S. S., Bushara, L., Mahmoud, M. Z., Yousef, M., Osman, H., & Osman, H. E. (2022). Evaluation of thyroid uptake of ^{99m}Tc pertechnetate using gamma camera and dose calibrator methods in the Sudanese population. *International Journal of Biomedicine*, 12(3), 380–384. [https://doi.org/10.21103/Article12\(3\)_OA5](https://doi.org/10.21103/Article12(3)_OA5)

Ziessman, H. A., O'Malley, J. P., & Thrall, J. H. (2020). *Nuclear medicine: The requisites* (5th ed.). Elsevier.