

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kedokteran nuklir adalah cabang ilmu kedokteran yang menggunakan bahan radioaktif untuk tujuan diagnostik dan terapi. Dalam kedokteran nuklir, radioisotop digunakan sebagai bahan radiofarmaka yang akan mengikat target organ dan memancarkan sinar gamma (Apostolopoulos dkk., 2023). *Single Photon Emission Computed Tomography* (SPECT) merupakan modalitas pencitraan medis yang dapat menghasilkan citra distribusi sinar gamma dalam bentuk tiga dimensi dari sinar gamma. Namun, kekurangan SPECT adalah tidak mampu menghasilkan citra detail anatomi secara langsung. Salah satu solusi untuk mengatasi kekurangan tersebut yaitu dengan menggabungkan SPECT dan *Computed Tomography* (CT) yang dikenal dengan pemindai hibrida SPECT/CT. Citra dari SPECT memberikan informasi fungsional mengenai organ dan jaringan yang dapat mendeteksi kelainan sebelum perubahan anatomi terjadi. Sementara itu, citra dari CT menunjukkan lokasi radionuklida di dalam tubuh pasien secara lebih detail (Bouchareb dkk., 2024).

Citra SPECT/CT dapat digunakan dalam pemeriksaan medis setelah melalui proses rekonstruksi. Dalam proses tersebut, digunakan dua jenis algoritma, yaitu algoritma rekonstruksi analitik dan iteratif. Algoritma rekonstruksi iteratif memiliki beberapa keunggulan dibandingkan algoritma rekonstruksi analitik (Zhao dkk., 2022). Misalnya, ketidakseragaman atenuasi dan hamburan akan sulit diatasi oleh algoritma analitik, sedangkan pada algoritma rekonstruksi iteratif hal tersebut dapat dimodelkan dengan mudah menggunakan matriks (Romdhane dkk., 2020). Selain itu, algoritma rekonstruksi iteratif memiliki kemampuan mengintegrasikan informasi fisik tambahan ke dalam proses rekonstruksi. Kemajuan komputasi saat ini juga membuat algoritma tersebut lebih cepat dalam menghasilkan data klinis (Willowson dan Bailey, 2024).

Algoritma rekonstruksi iteratif yang sering digunakan adalah *Maximum Likelihood Expectation Maximization* (MLEM) dan *Ordered-Subsets Expectation Maximization* (OSEM). MLEM menggunakan semua data proyeksi pada setiap

iterasi, sedangkan OSEM hanya menggunakan subset tertentu dari data proyeksi pada setiap iterasi. Hal ini menyebabkan algoritma OSEM memiliki kecepatan proses yang lebih tinggi dibandingkan MLEM. Namun, algoritma MLEM memiliki kemampuan yang baik dalam menekan *noise*, mudah diimplementasikan dan menunjukkan konvergensi global yang stabil (Zheng dkk., 2021). Peningkatan jumlah iterasi pada algoritma MLEM dapat meningkatkan kualitas citra, tetapi peningkatan jumlah iterasi tidak memberikan pengaruh yang sama pada algoritma OSEM (lima dkk., 2024).

Pada proses rekonstruksi menggunakan OSEM, jumlah iterasi dapat mempengaruhi akurasi visual suatu citra. Kondisi ini dapat mempersulit analisis visual citra, terutama dalam mendeteksi lesi kecil (Albergueiro dkk., 2025). Berdasarkan hasil penelitian Kupitz dkk (2021), jumlah iterasi terendah yang cukup untuk mencapai konvergensi pada algoritma OSEM adalah 2 iterasi dengan 10 subset. Selain itu, algoritma OSEM dengan jumlah iterasi ≥ 12 dapat menghasilkan citra dengan kontras yang tetap di wilayah tertentu, tetapi tingkat *noise* pada citra akan meningkat (Alqahtani dkk., 2021). *Noise* pada citra hasil rekonstruksi dapat dikurangi dengan filter gaussian dan filter *butterworth*. Filter gaussian memiliki tingkat deteksi lesi lebih baik dibandingkan filter *butterworth* (Wikberg dkk., 2023).

Alqahtani dkk., 2021 melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah iterasi dan penambahan proses filter gaussian pasca rekonstruksi menggunakan algoritma OSEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengurangan nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) dalam proses filter Gaussian, dapat mempengaruhi pemulihan kontras dan variabilitas latar belakang citra. Penggunaan FWHM sebesar 8 mm pada waktu akuisisi 3 detik per proyeksi menunjukkan bahwa terdapat keseimbangan optimal antara *noise* dan kontras citra. Meski demikian, dalam konteks klinis, citra SPECT/CT yang diperoleh dengan durasi proyeksi 3 detik menunjukkan kesulitan dalam mendeteksi lesi kecil. Deteksi lesi berukuran kecil sangat bergantung pada kualitas citra yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan penilaian parameter kualitas citra.

Contrast to Noise Ratio (CNR) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) merupakan parameter kualitas citra yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat *noise* pada citra (Hosny dkk., 2020). SNR mengukur kekuatan sinyal terhadap *noise* dalam citra, sedangkan CNR mengukur kontras antara objek dan latar belakang dengan mempertimbangkan *noise* (Yousefzadeh dkk., 2024). Selain penilaian SNR dan CNR, parameter kualitas citra juga dapat dinilai secara langsung oleh dokter spesialis kedokteran nuklir (SpKN) (Hamami dkk., 2025). Dokter kedokteran nuklir menganalisis semua citra secara independen untuk menilai kualitas citra, *noise*, dan keyakinan diagnostik berdasarkan skala *likert* yang telah ditetapkan (Alqahtani dkk., 2022).

Berdasarkan penelitian Albergueiro dkk., (2025), Wikberg dkk., (2023) dan Alqahtani dkk (2021), diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji pengaruh jumlah iterasi pada proses rekonstruksi menggunakan algoritma MLEM dan OSEM. Selain itu, penambahan proses filter gaussian pasca rekonstruksi juga perlu diperhatikan agar deteksi lesi kecil dapat dilakukan dengan baik. Untuk mengetahui pengaruh kedua proses tersebut, penilaian parameter kualitas citra hasil rekonstruksi penting dilakukan. Parameter yang digunakan untuk penilaian meliputi SNR, CNR dan skala *likert* yang dinilai oleh dokter SpKN.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Menentukan pengaruh jumlah iterasi (banyaknya siklus proses rekonstruksi) terhadap nilai SNR, CNR dan skala *likert* pada citra hasil rekonstruksi MLEM dan OSEM.
2. Mengkaji pengaruh penggunaan filter gaussian pasca rekonstruksi terhadap nilai SNR, CNR dan skala *likert* pada citra hasil rekonstruksi MLEM dan OSEM.
3. Menentukan perbandingan analisa kuantitatif dari perhitungan SNR dan CNR dan analisa kualitatif dari skala *likert* terhadap kualitas citra rekonstruksi MLEM dan OSEM.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Menyediakan data perbandingan jumlah iterasi antara rekonstruksi MLEM dan OSEM.
2. Menyediakan data perbandingan kualitas citra rekonstruksi tanpa filter maupun dengan filter untuk membantu radiografer maupun dokter dalam mendiagnosis pasien.
3. Mengoptimalkan penggunaan metode rekonstruksi MLEM dan OSEM pada citra SPECT/CT.

1.4 Orisinalitas Penelitian dan Analisis Kesenjangan (*Gap Analysis*)

Tabel 1.1 Orisinalitas Penelitian dan Analisis Kesenjangan

No	Peneliti (Tahun)	Topik Penelitian	Hasil Penelitian	Kesenjangan (<i>Research Gap</i>)
1	Zeraatar dkk., (2017)	Pengembangan dan evaluasi algoritma rekonstruksi citra untuk sistem SPECT <i>desktop</i> baru yang disebutkan PERSPECT.	Rekonstruksi OSEM menghasilkan kualitas citra terbaik (atau setara dengan MLEM) namun dengan efisiensi waktu yang jauh lebih baik. OSEM mencapai hasil optimal (keseimbangan <i>bias-noise</i>) lebih cepat dibandingkan metode lain.	Hanya menganalisis citra mentah hasil rekonstruksi tanpa menerapkan filter <i>smoothing</i> (seperti gaussian) untuk menekan <i>noise</i> dan hanya menggunakan satu konfigurasi subset untuk OSEM yaitu 4 subset.
2	Alqahtani dkk., (2021)	Optimasi kualitas citra <i>whole-body</i> SPECT/CT menggunakan radioisotop ^{99m}Tc .	Rekonstruksi 3D OSEM dengan 12 iterasi, 8 subset dan diikuti post-filter gaussian 8 mm memberikan keseimbangan terbaik antara <i>noise</i> dan kontras.	Terbatas hanya pada rekonstruksi OSEM dan difokuskan pada pengurangan waktu akuisisi.

No	Peneliti (Tahun)	Topik Penelitian	Hasil Penelitian	Kesenjangan (<i>Research Gap</i>)
3	Zhao dkk., (2022)	Optimasi resolusi spasial dan parameter rekonstruksi citra untuk sistem <i>Small-Animal</i> PET/CT (Metis TM).	Peningkatan FWHM pada filter gaussian efektif mengurangi <i>noise</i> , namun jika berlebihan akan menyebabkan citra menjadi kabur (<i>blurred</i>) dan detail struktur halus hilang.	Hanya fokus mencari satu set parameter terbaik untuk untuk sistem spesifik (Metis PET/CT) dan hanya dilakukan pada sistem PET, tidak SPECT.
4	Lima dkk., (2024)	Evaluasi dan perbandingan metode rekonstruksi iteratif MLEM dan OSEM khusus untuk pencitraan SPECT tulang (<i>bone SPECT</i>).	Rekonstruksi OSEM menghasilkan kontras dan CNR yang masih tinggi dibandingkan MLEM dengan jumlah iterasi yang jauh lebih sedikit. Menambah iterasi melebihi titik optimal dapat menurunkan kualitas citra karena peningkatan level <i>noise</i> yang signifikan.	Studi ini berbasis simulasi monte carlo pada phantom, tidak melakukan penerapan pada citra klinis. Studi juga tidak menyelidiki penggunaan filter pasca-rekonstruksi (gaussian).
5	Albergueiro dkk., (2025)	Optimasi rekonstruksi citra dan kuantifikasi aktivitas untuk SPECT/CT menggunakan radioisotop ¹⁶⁶ Ho, yang digunakan dalam terapi radioembolisasi hati (SIRT).	Kualitas citra dan kuantifikasi terbaik untuk SPECT 166 Ho dicapai menggunakan rekonstruksi OSEM dengan konfigurasi 5 iterasi (15 subset) atau iterasi (8 subset).	Menggunakan pemodelan monte carlo yang komputasinya tidak praktis untuk klinis. Selain itu, membatasi jumlah iterasi tanpa mengoptimalkan filter pasca-rekonstruksi.