

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Modulation Transfer Function (MTF) merupakan gambaran hubungan antara modulasi sistem dan frekuensi spasial dengan nilai batas 10% berupa penyajian resolusi spasial dalam bentuk penilaian objektif (Anam dkk., 2022). Resolusi spasial merupakan kemampuan sistem pencitraan untuk membedakan objek terkecil dalam dua dimensi, semakin kecil objek yang dapat dibedakan, semakin baik resolusinya. Resolusi spasial dipengaruhi oleh ukuran detektor, *focal spot*, waktu rotasi *gantry*, jenis rekonstruksi, dan lokasi objek pada *field of view* (FOV) (Hernandez dkk., 2021).

Penelitian terdahulu telah menggunakan fantom untuk menghitung nilai MTF (Anam dkk., 2019; Ainurrofik dkk., 2021; Wu dkk., 2021; Hernandez dkk., 2021; Wulandari dkk., 2024). Anam dkk (2019) membuat *wire phantom* sederhana dengan menggunakan kawat timah yang memiliki diameter 0,1 mm dan dirancang untuk mengukur MTF secara otomatis pada citra axial CT di sumbu x dan y. Selanjutnya, Ainurrofik dkk (2021) telah membuat sebuah fantom yang digunakan untuk mengukur MTF radial secara otomatis. Kemudian, Wu dkk (2021) juga mengembangkan fantom untuk pengukuran 3D MTF yang terpisah, pengukuran MTF bidang axial menggunakan *multi wire phantom*, arah *oblique* menggunakan *wedge phantom*, dan untuk multi arah tiga dimensi menggunakan *sphere phantom*. Lalu, Hernandez dkk (2021) mengukur 3D MTF pada sistem CT resolusi tinggi menggunakan fantom berbasis bola untuk mengevaluasi ketergantungan resolusi spasial terhadap arah dan posisi di dalam FOV melalui *3D Edge Spread Function* (ESF). Selanjutnya, Wulandari dkk (2024) telah membuat sebuah fantom yang ditanam objek kawat *stainless steel* yang memiliki diameter 0,3 mm dan dirancang

untuk mengevaluasi dampak variasi arus tabung terhadap nilai 3D MTF pada citra CT di tiga sumbu, yaitu x, y, dan z.

Keterbatasan dalam penelitian-penelitian sebelumnya, menunjukkan bahwa pengukuran MTF umumnya belum dapat dilakukan secara praktis dan kompleks karena memerlukan lebih dari satu jenis fantom. Pencitraan CT pada saat ini digunakan untuk merepresentasikan struktur anatomi internal, keterbatasan akan muncul ketika arah irisan citra tidak mencerminkan kondisi anatomi yang sesungguhnya (Mejia dkk., 2025). Pendekatan geometris tambahan dapat meningkatkan cakupan arah spasial dan estimasi resolusi spasial (Lodge dkk., 2018). Penambahan kawat diagonal yang memotong titik pusat fantom (*oblique*) dapat merepresentasikan keadaan yang lebih kompleks pada anatomi yang tidak selalu sejajar dengan sumbu x, y, dan z. Semakin kompleks representasi data dari nilai MTF yang didapatkan maka diharapkan nilai MTF yang dihasilkan semakin merepresentasikan keadaan anatomi yang sesungguhnya.

Oleh karena itu, untuk menguji nilai MTF yang dihasilkan pada kondisi anatomi yang kompleks dan tidak sejajar dengan sumbu x, y, dan z, maka dibuatlah fantom dengan penambahan kawat diagonal yang memotong titik pusat fantom. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah nilai MTF pada fantom yang representasi geometrinya lebih kompleks tetap menghasilkan nilai MTF yang baik. Kemudian, penggunaan kawat *stainless steel* berdiameter 0,2 mm dan 0,3 mm pada penelitian ini digunakan sebagai representasi dari struktur anatomi halus pada tubuh manusia, seperti trabekula tulang atau lapisan kortikal tipis (Treece dkk., 2010). Nilai MTF yang dihasilkan akan menjadi acuan standar bahwa citra yang dihasilkan oleh CT dapat digunakan sebagai alat untuk diagnosis klinis dan melihat anatomi manusia yang ukuran diamatarnya kecil.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat fantom dengan penambahan kawat diagonal untuk mengetahui nilai 3D MTF dan MTF *Oblique*.
2. Menganalisis pengaruh variasi diameter kawat dan filter rekonstruksi pada fantom terhadap nilai 3D MTF dan MTF *Oblique* yang dihasilkan.

1.3 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang telah dikemukakan di atas, maka didapatkan manfaat penelitian sebagai berikut:

1. Dihasilkan fantom yang dapat digunakan sebagai media QC pada modalitas CT di rumah sakit, sehingga dapat menjamin kinerja CT tetap optimal selama masa penggunaannya.
2. Diketahui pengaruh variasi diameter kawat dan filter rekonstruksi terhadap nilai 3D MTF dan MTF *Oblique* yang dihasilkan.

1.4 Orisinalitas Penelitian

Tabel 1.1 merupakan ringkasan penelitian terdahulu yang menunjukkan judul dan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan Perhitungan MTF.

Tabel 1.1 Tabel Orisinalitas Penelitian

Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Automated MTF measurement in CT images with a simple wire phantom	Penelitian ini berhasil mengembangkan fantom kawat sederhana (<i>wire phantom</i>) dan algoritma otomatis untuk mengukur MTF pada citra CT. Hasil pengukuran MTF dengan metode otomatis menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan metode standar berbasis <i>curve fitting</i> , dengan perbedaan nilai 50% kurang dari 3%. Selain itu, sistem yang dikembangkan

	mampu membedakan resolusi spasial akibat variasi ukuran <i>focal spot</i> serta jenis filter rekonstruksi, di mana filter FC52 memberikan resolusi tertinggi, diikuti dengan FC30 dan FC13. Hasil ini menunjukkan bahwa <i>phantom in house</i> yang sederhana dapat digunakan secara efektif untuk evaluasi resolusi spasial dan <i>quality control</i>, khususnya ketika fantom standar tidak tersedia.
An Automation of Radial Modulation Transfer Function (MTF) Measurement on a Head Polymethyl Methacrylate (PMMA) Phantom	Penelitian ini berhasil mengembangkan metode otomatis pengukuran radial MTF menggunakan <i>head PMMA phantom</i>. Hasil menunjukkan bahwa pengukuran MTF dengan radial ROI menghasilkan nilai resolusi spasial yang sedikit lebih tinggi dan lebih stabil dibandingkan metode rectangular ROI. Nilai MTF 50% yang diperoleh masing-masing adalah 0,32 cycle/mm (radial ROI) dan 0,30 cycle/mm (rectangular ROI), sedangkan MTF 10% masing-masing sebesar 0,59 cycle/mm dan 0,58 cycle/mm. Selain itu, metode yang diusulkan mampu membedakan karakteristik resolusi spasial akibat variasi filter rekonstruksi (FC13, FC30, dan FC52) serta dapat diterapkan pada berbagai jenis CT scan, sehingga menunjukkan bahwa pendekatan radial lebih representatif dalam mengevaluasi resolusi spasial dibandingkan pendekatan ROI konvensional.
Theory, method, and test tools for determination of 3D MTF characteristics in cone-beam CT	Penelitian ini berhasil mengembangkan metode dan perangkat uji pengukuran 3D MTF pada sistem CT menggunakan <i>multi wire phantom</i>, <i>wedge phantom</i>, dan <i>sphere phantom</i>. Hasil menunjukkan bahwa pengukuran MTF pada arah <i>oblique</i> mampu mengungkap karakteristik resolusi spasial kompleks yang tidak terdeteksi melalui

	pengukuran MTF bidang axial saja. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan filter rekonstruksi anisotropik dan mode binning detektor asimetris menghasilkan resolusi spasial yang tidak isotropik, sedangkan penerapan filter isotropik menghasilkan nilai MTF yang relatif seragam pada berbagai arah. Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan bahwa MTF satu dimensi pada arah <i>oblique</i> dapat digunakan sebagai representasi praktis resolusi spasial yang kompleks pada sistem CT/CBCT.
Location and direction dependence in the 3D MTF for a high-resolution CT system	Penelitian ini menunjukkan bahwa 3D MTF pada sistem resolusi tinggi bergantung pada arah dan posisi di dalam FOV, di mana resolusi spasial pada bidang aksial, <i>oblique</i>, radial, azimuthal, dan longitudinal menunjukkan karakteristik yang berbeda. Hasil pengukuran menggunakan <i>sphere phantom</i> memperlihatkan bahwa mode resolusi, ukuran <i>focal spot</i>, kernel rekonstruksi, dan posisi radial memengaruhi nilai MTF, dengan variasi terbesar terjadi pada komponen radial dan azimuthal di luar pusat medan pandang. Selain itu, MTF arah <i>oblique</i> terbukti mampu merepresentasikan kontribusi resolusi axial dan longitudinal secara bersamaan, sehingga dapat digunakan sebagai indikator ringkas karakteristik resolusi spasial tiga dimensi sistem CT.
The Evaluation of the Tube Current Impact on Axial, Sagittal, and Coronal MTFs on CT Images Using an In-House Phantom	Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi arus tabung tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai MTF pada citra CT arah axial, sagittal, dan koronal yang diukur menggunakan phantom <i>in house</i> berbasis kawat. Nilai MTF 10% yang diperoleh berada pada kisaran 0,67-

0,71 cycle/mm untuk seluruh variasi arus tabung, dengan MTF axial sedikit lebih tinggi dibandingkan MTF sagital dan koronal yang disebabkan oleh perbedaan ukuran piksel pada arah x dan z. Hasil ini menunjukkan bahwa resolusi spasial tiga dimensi CT relatif stabil terhadap perubahan arus tabung pada kondisi parameter pencitraan yang digunakan.
