

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi dalam dunia medis terus berkembang pesat mencapai kemajuan-kemajuan yang signifikan (Barragán-Montero dkk., 2021). Hal ini tercermin dari meningkatnya kemampuan diagnosis, metode pengobatan yang presisi dan meminimalisir tindakan invasif, sehingga secara fundamental mengubah praktik kedokteran dan meningkatkan harapan hidup pasien di seluruh dunia (GBD, 2020). Inovasi-inovasi perkembangan ini saling mendukung dan melengkapi bidang-bidang lainnya, seperti pencitraan medis (Kwee dan Kwee, 2021).

Dalam perkembangan pencitraan medis, hasil citra dalam bentuk 3D (tiga dimensi) menjadi sangat diperlukan untuk dapat mendiagnosis penyakit dengan cepat dan tepat (Taghanaki dkk., 2021). Hal ini dikarenakan pencitraan 3D memungkinkan segmentasi otomatis dan analisis kuantitatif yang akurat, sehingga mempercepat dan menajamkan diagnosis (Isensee dkk., 2021). Ada banyak alat yang bisa digunakan untuk mengeksplorasi tubuh manusia tanpa tindakan invasif dan menghasilkan citra dalam bentuk 3D, seperti CT-Scan (*Computed Tomography*), MRI (*Magnetic Resonance Imaging*), CBCT (*Cone-Beam Computed Tomography*), dan masih banyak lainnya.

Namun, pada aplikasi klinis rutin yang membutuhkan akses luas, efektivitas waktu, radiasi rendah, dan efisiensi biaya, mendapatkan citra 3D masih menjadi keterbatasan. Kondisi ini menunjukkan bahwa masih terdapat keterbatasan dalam pemanfaatan pencitraan medis untuk memenuhi kebutuhan klinis tertentu (Islam dkk., 2023). Modalitas CT-Scan memang dapat menghasilkan citra 3D, tapi aksesnya yang masih belum merata, waktu akuisisi yang lama, serta radiasi yang cukup tinggi menjadi kendalanya (Al-Naser dan Alshadeedi, 2024). Sementara, Sinar-X konvensional telah tersedia secara luas di hampir seluruh fasilitas kesehatan di Indonesia, sedangkan ketersediaan CT-Scan masih terbatas pada rumah sakit tertentu (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2024).

Sinar-X konvensional merupakan modalitas pencitraan medis yang begitu populer dan banyak tersebar di Indonesia dibandingkan dengan CT-Scan (Almas

dkk., 2023). Berdasarkan data dari 6Wresearch yang merupakan pusat intelijen bisnis yang melaporkan riset industri, pasar alat Sinar-X konvensional di Indonesia diproyeksikan bertumbuh secara signifikan dengan laju pertumbuhan 9,06% per 2025 (6Wresearch, 2025). Data lainnya dari KEMENKES tahun 2023 menyatakan bahwa Jepang menghibahkan 102 unit Sinar-X konvensional untuk rumah sakit di Indonesia dan tersebar di 38 provinsi (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023). Jika dibandingkan dengan persebaran CT-Scan di Indonesia, Deputi Perizinan dan Inspeksi BAPETEN, Zainal Arifin melalui Media Indonesia menyatakan bahwa dari sekitar 3.200 rumah sakit yang ada di Indonesia, baru tersedia sekitar 1.500 CT-Scan yang tersedia (Lubis dkk., 2024).

Persebaran CT-Scan ini menyebabkan keterbatasan akses untuk mendapatkan visualisasi 3D pada tahap awal pemeriksaan (Ou dkk., 2021). Dengan mempertimbangkan keunggulan akses dan efisiensi Sinar-X konvensional, penelitian ini menggunakan dua citra Sinar-X konvensional 2D (dua dimensi) dari sudut pandang berbeda untuk membangun rekonstruksi 3D yang dapat digunakan untuk visualisasi klinis. Rekonstruksi ini dimaksudkan sebagai alat bantu visualisasi awal yang berpotensi mendukung pengambilan keputusan klinis. Selain itu, Sinar-X konvensional memiliki keunggulan berupa dosis radiasi yang lebih rendah serta waktu akuisisi yang lebih singkat dibandingkan CT-Scan, sehingga pendekatan ini berpotensi meningkatkan efisiensi alur pemeriksaan tanpa menambah beban paparan radiasi pasien (Ou dkk., 2021). Pendekatan merekonstruksi citra Sinar-X konvensional ini sudah banyak dilakukan dengan berbagai cara yang efektif dan efisien.

Mitton dkk. (2000) mengembangkan metode rekonstruksi geometri 3D vertebra servikal dari dua citra radiografi menggunakan pendekatan *Non-Stereocorresponding Points* (NSCP) yang dikombinasikan dengan *Direct Linear Transformation* (DLT) dan *elastic deformable mesh*. Metode ini memungkinkan rekonstruksi titik anatomi yang hanya terlihat pada satu proyeksi radiografi dengan memanfaatkan kendala geometris dan topologis dari model deformabel. Pengujian pada 18 vertebra menunjukkan bahwa hasil rekonstruksi memiliki jarak rata-rata terhadap pengukuran referensi sekitar 0,8–1,9 mm, sehingga mampu

merepresentasikan geometri vertebra dengan akurasi cukup tinggi. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena sangat bergantung pada proses identifikasi landmark secara manual pada citra radiografi. Selain itu, keberhasilan rekonstruksi ini memerlukan model bentuk awal (*generic object*) yang telah diketahui sebelumnya sehingga fleksibilitas metode menjadi terbatas ketika diterapkan pada objek dengan variasi anatomi yang besar.

Hidayat dkk. (2012) melakukan rekonstruksi objek tiga dimensi dari citra dua dimensi menggunakan pendekatan geometri epipolar, Matriks Fundamental, dan *Direct Linear Transformation* (DLT). Penelitian ini menggunakan beberapa citra miniatur Candi Borobudur yang diambil dari sudut pandang berbeda dengan satu kamera, kemudian dilakukan ekstraksi titik fitur, pencarian korespondensi titik, estimasi matriks fundamental, dan triangulasi untuk memperoleh koordinat 3D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan menghasilkan galat reproyeksi rata-rata sebesar $8,864 \times 10^{-6}$ piksel, yang menunjukkan tingkat akurasi geometris yang sangat tinggi. Namun, karena penelitian tersebut dilakukan pada objek miniatur dengan kondisi pencitraan yang terkontrol, metode tersebut belum menunjukkan kinerjanya ketika diterapkan pada citra medis yang memiliki karakteristik lebih kompleks, seperti adanya noise, tumpang tindih struktur anatomi, dan distorsi proyeksi sinar-X.

Penelitian terus dikembangkan oleh Suehara dkk. (2025) yang menggunakan sistem pencitraan EOS, sistem stereoradiografi biplanar modern yang memungkinkan rekonstruksi geometri 3D rangka dari dua citra Sinar-X ortogonal. Hasilnya menunjukkan bahwa hanya dengan 40 gambar EOS-CT berpasangan (dari 20 pasien) didapatkan akurasi prediksi sudah mulai stabil. Ini menunjukkan bahwa stereoradiografi masih menjadi riset yang aktif untuk dikembangkan dengan penggunaan kecerdasan buatan, hanya saja penelitian ini membutuhkan banyak citra untuk pelatihan data dan masih bergantung pada CT-Scan untuk mendapatkan citranya. Meskipun pendekatan berbasis kecerdasan buatan seperti ini menunjukkan hasil yang menjanjikan, ketergantungannya pada data CT-Scan dan kebutuhan volume citra yang besar dalam pelatihan masih

menjadi kendala, sehingga mendorong eksplorasi metode stereoradiografi geometri klasik yang lebih ringkas dan tidak memerlukan modalitas tambahan.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, masih terdapat kebutuhan akan metode rekonstruksi 3D yang lebih sederhana, tidak bergantung pada CT-Scan atau model anatomi awal, serta dapat diterapkan langsung pada dua citra Sinar-X konvensional. Metode triangulasi stereoradiografi mampu merekonstruksi geometri 3D hanya dari dua citra 2D Sinar-X konvensional tanpa memerlukan modalitas tambahan seperti CT-Scan (Mitton dkk., 2000). Triangulasi adalah metode stereoradiografi yang merekonstruksi matriks 2D dari sudut pandang berbeda menjadi titik geometris 3D melalui perpotongan proyeksi yang terkalibrasi untuk dapat menghasilkan rekonstruksi citra 3D hanya dengan dua citra 2D saja tanpa ada penggunaan modalitas lainnya kecuali Sinar-X konvensional (Hartley dan Zisserman, 2004). Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan rekonstruksi 3D berbasis triangulasi stereoradiografi pada dua citra Sinar-X konvensional menggunakan pencocokan korespondensi semiotomatis berbasis informasi numerik piksel serta evaluasi konsistensi geometrik menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) reproyeksi.

Pendekatan ini berbeda dari penelitian stereoradiografi terdahulu yang umumnya memanfaatkan proses rekonstruksi yang lebih kompleks, karena penelitian ini mengimplementasikan alur rekonstruksi yang lebih sederhana dengan tetap mampu menghasilkan visualisasi 3D awal dari dua citra proyeksi. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa rekonstruksi tiga dimensi dari citra Sinar-X biplanar dua dimensi memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai visualisasi awal klinis, sehingga dapat menjadi alternatif pendukung sebelum dilakukan pemeriksaan menggunakan modalitas pencitraan tiga dimensi yang lebih komprehensif.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan:

1. Membuat program menggunakan Python yang dapat merekonstruksi citra 2D menjadi 3D menggunakan triangulasi stereoradiografi.

2. Menghasilkan gambar citra 3D yang dapat digunakan untuk visualisasi awal klinis.
3. Mengevaluasi keakuratan hasil model rekonstruksi 3D dari citra Sinar-X 2D.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat berguna untuk:

1. Memberi jalur riset baru yang mendasari teknik merekonstruksi citra 2D menjadi 3D menggunakan informasi numerik citra digital.
2. Menjadi dasar pengembangan metode visualisasi 3D awal berbasis dua citra Sinar-X konvensional untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut di bidang pencitraan medis.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan dua citra dengan metode geometri triangulasi stereoradiografi dan menggunakan kalibrasi awal sebagai hasil evaluasi untuk hasil rekonstruksi citra.

