Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Volume 23, Nomor 1, Februari 2026
1819-796X (p-ISSN); 2541-1713 (e-ISSN)
https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/f *Research Article*

Analisis Aspek Geometri Penyudutan Arah Sinar Terhadap Kualitas Citra Radiografi Vertebra Servikal Proyeksi AP Cephalad

Indah Musdalifah[1)], Andi Nur Intan Wulandari[2)], Zulkifli Tri Darmawan[2,*)], Muh Rusli[1)], Herlinda Mahdania Harun[1)], Sitti Normawati[1)], dan Intan Mutia Pujastuti Zees[1)]

[1)] Program Studi D3 Radiologi, Politeknik Muhammadiyah Makassar
[2)] Program Studi D4 Teknologi Radiologi Pencitraan, Politeknik Muhammadiyah Makassar

Email korespondensi : zulkifli.tri@poltekkesmu.ac.id

DOI: https://doi.org/10.20527/flux.v23i1.23109

Submitted: 4 Juli 2025; Revised: 16 Desember 2025**;** Accepted: 19 Januari 2026

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi sudut penyudutan arah sinar terhadap kualitas citra radiografi vertebra servikal pada proyeksi Anterior-Posterior (AP) ke arah cephalad. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif analitik dan dilaksanakan di Laboratorium Radiologi Politeknik Muhammadiyah Makassar. Objek penelitian berupa phantom servikal yang dipaparkan sinar-X dengan variasi sudut 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, dan 30° menggunakan parameter eksposi yang seragam. Setiap citra radiograf dievaluasi oleh dua orang dokter spesialis radiologi berdasarkan tingkat keterbacaan struktur anatomi vertebra servikal menggunakan lembar penilaian terstandar. Data hasil penilaian dianalisis secara statistik menggunakan uji Friedman untuk mengetahui perbedaan kualitas citra antarvariasi sudut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada kualitas citra radiografi akibat variasi sudut penyudutan ($p < 0,05$). Sudut 10° menghasilkan nilai rerata peringkat (mean rank) tertinggi sebesar 2,21, yang menunjukkan kualitas visualisasi anatomi paling optimal, dengan kontur tulang yang jelas, ruang antarvertebra terbuka, serta minimnya tumpang tindih struktur. Sebaliknya, sudut ekstrem seperti 25° dan 30° menunjukkan penurunan kualitas citra yang ditandai dengan elongasi bayangan dan berkurangnya kejelasan struktur anatomis. Dapat disimpulkan bahwa penyudutan sinar memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas citra radiografi servikal, dan sudut 10° merupakan sudut yang paling optimal pada proyeksi AP cephalad. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan teknis dalam praktik radiografi servikal untuk meningkatkan kualitas diagnostik sekaligus mengurangi potensi eksposi ulang.
KATA KUNCI : Geometri pencitraan; Kualitas citra; Radiografi servikal; Sudut penyudutan

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of X-ray beam angulation on the image quality of cervical spine radiography using the Anterior Posterior (AP) cephalad projection. A quantitative descriptive-analytic method was applied and conducted at the Radiology Laboratory of Politeknik Muhammadiyah Makassar. A cervical spine phantom was used as the object, exposed at beam angulations of 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, and 30° under standardized exposure parameters. Each radiographic image was independently evaluated by two radiologists using a structured assessment form focusing on the clarity of cervical anatomical structures. The collected data were statistically analyzed using the Friedman test to determine differences in image quality among angulation variations. The results demonstrated a statistically significant difference in image quality related to beam angulation ($p < 0.05$). The 10° angulation produced the highest mean rank value (2.21), indicating optimal anatomical visualization with clear vertebral contours, well-defined intervertebral spaces, and minimal structural overlap. In contrast, extreme angulations such as 25° and 30° resulted in decreased image quality characterized by image elongation and reduced anatomical contrast. In conclusion, X-ray beam angulation significantly affects cervical radiographic image quality, and a 10° angulation is identified as the most optimal angle for the AP cephalad projection. These findings provide practical guidance for optimizing cervical radiography techniques to enhance diagnostic image quality while minimizing the need for repeat exposures.
KEYWORDS : Beam angulation; Cervical radiography; Image geometry; Image qualit

PENDAHULUAN

Radiologi diagnostik merupakan cabang ilmu kedokteran yang memanfaatkan sinar-X untuk mengamati struktur internal tubuh guna mendeteksi adanya gangguan atau kelainan anatomi. Keberhasilan pemeriksaan sangat ditentukan oleh berbagai faktor teknis, termasuk parameter geometrik seperti sudut datang sinar, posisi objek, serta jarak antara sumber sinar dan detektor. Dalam praktiknya, penyusunan parameter ini berperan besar dalam menentukan kualitas akhir citra, baik dari segi kejelasan struktur maupun akurasi informasi diagnostik (Sparzinanda *et al*., 2018) (Sianturi *et al*., 2018) (Rusyadi *et al*., 2021).

Pemeriksaan radiografi pada area servikal, khususnya dengan proyeksi Anterior Posterior (AP) mengarah ke cephalad (tulang leher), menjadi salah satu teknik penting dalam menilai integritas tulang leher bagian atas (Kusramadana *et al*., 2025). Ketepatan sudut penyudutan sangat krusial karena akan menentukan bagaimana proyeksi anatomi ditampilkan. Sudut yang kurang tepat bisa menyebabkan tumpang tindih antara tulang mandibula dan vertebra atas, atau justru menimbulkan distorsi (perubahan ukuran dan bentuk gambar citra radiograf) anatomi. Oleh karena itu, evaluasi terhadap pengaruh variasi sudut penyudutan menjadi penting dalam konteks peningkatan mutu diagnostik (Pirmansyah *et al*., 2025a) (Gunawan, 2025).

Secara fisika, setiap variasi sudut penyudutan mengubah arah proyeksi sinar terhadap objek dan akan memengaruhi dimensi serta bentuk bayangan yang terbentuk pada detektor. Konsep ini erat kaitannya dengan prinsip geometri pencitraan seperti divergensi berkas sinar, efek pembesaran, serta distorsi proyeksi yang semuanya menjadi dasar pemahaman dalam praktik pencitraan medis (Asriningrum *et al*., 2021). Dalam konteks ini, prinsip geometri bukan hanya berkaitan dengan akurasi citra, tetapi juga berdampak pada efisiensi prosedur dan keselamatan pasien karena kesalahan teknik dapat menyebabkan pengulangan eksposi.

Beberapa penelitian terdahulu juga telah mengeksplorasi variasi sudut penyudutan sinar dalam proyeksi AP cervical untuk menentukan posisi yang paling optimal. Studi oleh Gunawan (2025) melaporkan bahwa sudut 15° cranial menghasilkan citra yang paling jelas dibandingkan dengan sudut lainnya, karena mampu memperlihatkan celah antarvertebra tanpa tertutupi oleh mandibula.

Sementara itu, penelitian Ardana (2025) dan Zuzilla *et al*. (2021) menemukan bahwa rentang sudut antara 10° hingga 20° memberikan visualisasi struktur vertebra servikal yang paling informatif, dengan sudut 15° sebagai titik optimal. Hasil-hasil tersebut menunjukkan adanya konsistensi bahwa sudut penyudutan memiliki pengaruh signifikan terhadap kejelasan struktur anatomis pada radiografi servikal, serta mendukung pentingnya evaluasi sudut yang tepat untuk mencapai kualitas citra yang maksimal (Saputra & Bequet, 2023) (Suparno *et al*., 2024) (Shrestha *et al*., 2017).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aspek geometri penyudutan arah sinar terhadap kualitas citra radiografi vertebra servikal pada proyeksi Anterior Posterior (AP) cephalad, serta menentukan sudut penyudutan yang paling optimal dalam menghasilkan informasi anatomi yang jelas dan diagnostik. Penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu radiodiagnostik dari sisi fisika medis, tetapi juga menjadi referensi praktis dalam meningkatkan standar mutu pemeriksaan radiografi servikal di lingkungan klinis dan akademik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan kuantitatif melalui metode deskriptif analitik, yang bertujuan untuk menelaah pengaruh sudut penyudutan sinar terhadap kualitas citra radiografi tulang leher bagian atas menggunakan proyeksi anterior-posterior (AP) ke arah cephalad. Fokus utama penelitian ini adalah mengevaluasi sudut optimal yang mampu menyajikan informasi anatomi vertebra servikal secara jelas dan utuh, dengan memperhatikan prinsip dasar

geometri pencitraan.

Proses penelitian dilakukan di Laboratorium Radiologi Politeknik Muhammadiyah Makassar pada bulan April 2025. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas radiologi standar, serta keberadaan phantom servikal sebagai objek pencitraan yang representatif dan konsisten sehingga tidak perlu menggunakan manusia sebagai objek langsung dalam penelitian.

Dalam pelaksanaan penelitian, sejumlah alat digunakan untuk menunjang pengambilan data, di antaranya pesawat sinar-X konvensional, kaset radiografi berukuran 35 × 43 cm, serta sistem *computed radiography* (CR) untuk proses digitalisasi citra. Objek yang digunakan adalah phantom servikal yang diposisikan tegak lurus pada garis tengah detektor dan sejajar dengan arah pancaran sinar.

Teknik proyeksi yang diterapkan adalah Antero Posterior (AP) ke arah cephalad dengan variasi sudut penyudutan yang terdiri atas 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, dan 30°. Adapun pengaturan jarak FFD dibuat konstan. Seluruh prosedur eksposi dilakukan menggunakan pengaturan teknis yang seragam, yakni tegangan 70 kV, arus 50 mA, dan waktu paparan 12 detik untuk setiap sudut.

Setelah proses pencitraan selesai, hasil radiografi diproses melalui sistem CR dan ditampilkan dalam format digital. Setiap citra kemudian dievaluasi oleh dua orang dokter spesialis radiologi (radiolog) menggunakan lembar penilaian khusus yang disusun berdasarkan kejelasan visual struktur anatomi, mulai dari kontur tulang hingga jarak antarvertebra. Penilaian dilakukan secara subjektif menggunakan empat kategori tingkat keterbacaan yaitu tidak nampak, kurang nampak, nampak, dan sangat nampak. Seluruh skor yang diberikan direkap dalam bentuk tabel, lalu dianalisis secara statistik menggunakan uji Friedman. Uji ini dipilih untuk membandingkan kelompok data berpasangan yang berasal dari pengamatan terhadap objek yang sama, tetapi dengan perlakuan sudut yang berbeda-beda.

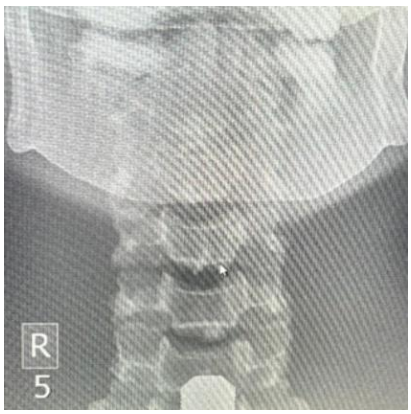
Hasil analisis kemudian menghasilkan peringkat rerata *(mean rank)* untuk setiap variasi sudut penyudutan, yang mencerminkan seberapa baik sudut tersebut dalam menampilkan struktur anatomi vertebra servikal. Sudut yang memperoleh nilai tertinggi dianggap sebagai sudut yang paling efektif dalam menghasilkan citra dengan penampakan anatomi terbaik. Temuan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam praktik radiografi klinis, khususnya dalam optimalisasi parameter geometri guna memperoleh kualitas citra yang tinggi dan meminimalkan eksposur ulang yang tidak diperlukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

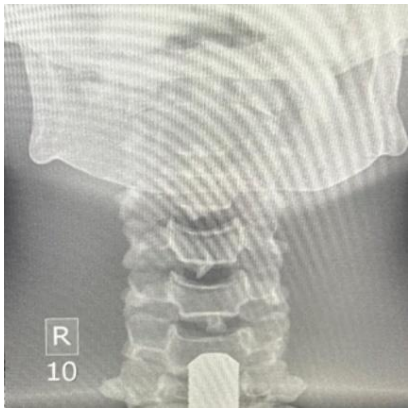
Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sudut penyudutan arah sinar yang paling efektif dalam menghasilkan citra radiografi vertebra servikal pada proyeksi AP ke arah cephalad. Melalui serangkaian prosedur eksposi terhadap phantom servikal dengan tujuh variasi sudut (0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, dan 30°), diperoleh serangkaian citra yang kemudian dievaluasi oleh dua orang dokter spesialis radiologi.

Evaluasi dilakukan secara terstandar berdasarkan tingkat keterbacaan struktur anatomi pada citra, seperti kontur tulang, ruang diskus intervertebralis, serta kesimetrisan proyeksi vertebra. Penilaian dilakukan dengan menggunakan skala empat kategori yaitu sangat nampak, nampak, kurang nampak, dan tidak nampak, yang dikonversi menjadi nilai ordinal untuk dianalisis menggunakan uji Friedman.

Gambar 1. Hasil Citra Radiograf Penyudutan 0°.



Gambar 2. Hasil Citra Radiograf Penyudutan 5°.

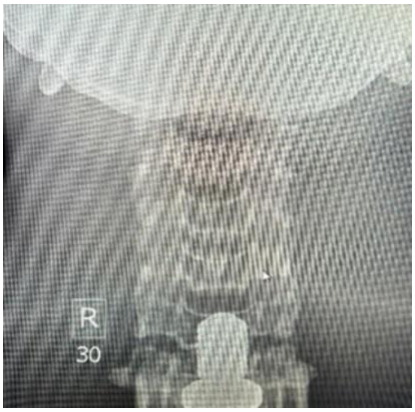


Gambar 3. Hasil Citra Radiograf Penyudutan 10°.

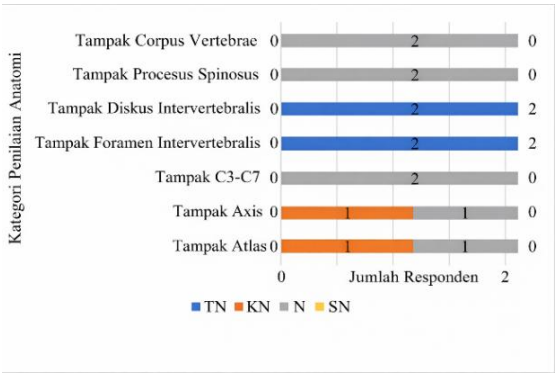
Gambar 4. Hasil Citra Radiograf Penyudutan 15°.

Gambar 5. Hasil Citra Radiograf Penyudutan 20°.

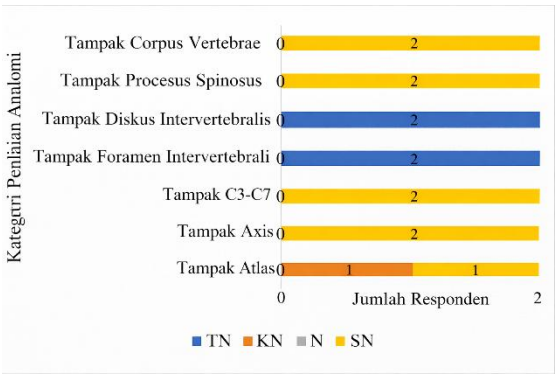
Gambar 6. Hasil Citra Radiograf Penyudutan 25°.



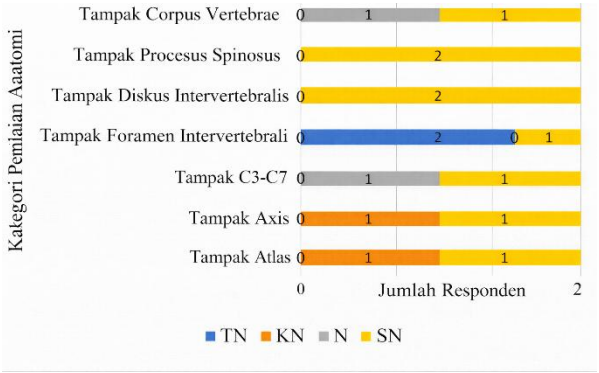
Gambar 7. Hasil Citra Radiograf Penyudutan 30°.



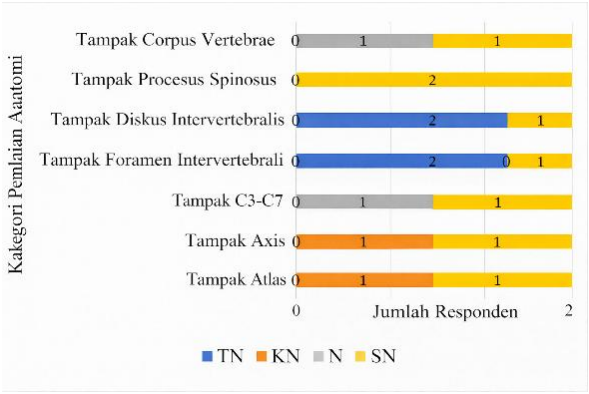
Gambar 8. Hasil Kuisioner Keterbacaan Struktur Anatomi Vertebra Servikal Penyudutan 0°.



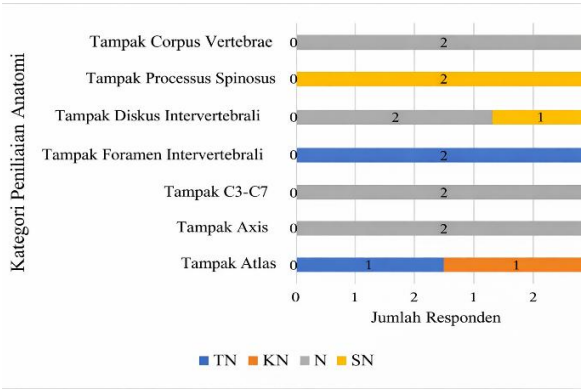
Gambar 9. Hasil Kuisioner Keterbacaan Struktur Anatomi Vertebra Servikal Penyudutan 5°.



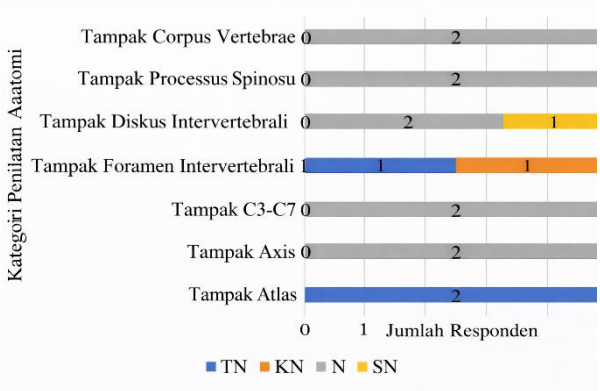
Gambar 10. Hasil Kuisioner Keterbacaan Struktur Anatomi Vertebra Servikal Penyudutan 10°.



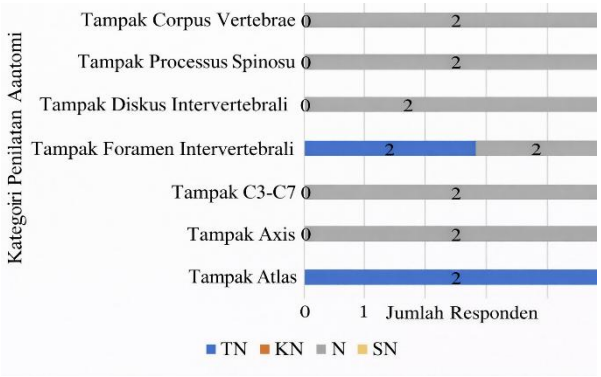
Gambar 11. Hasil Kuisioner Keterbacaan Struktur Anatomi Vertebra Servikal Penyudutan 15°.



Gambar 12. Hasil Kuisioner Keterbacaan Struktur Anatomi Vertebra Servikal Penyudutan 20°.



Gambar 13. Hasil Kuisioner Keterbacaan Struktur Anatomi Vertebra Servikal Penyudutan 25°.



Gambar 14. Hasil Kuisioner Keterbacaan Struktur Anatomi Vertebra Servikal Penyudutan 30°.

Berdasarkan hasil grafik keterbacaan struktur anatomi vertebra servikal dari proyeksi AP cephalad, ditemukan bahwa kualitas citra sangat dipengaruhi oleh sudut penyudutan arah sinar. Grafik menunjukkan bahwa sudut 10° menghasilkan nilai keterbacaan tertinggi dari dua orang radiolog penilai, dengan tampilan kontur vertebra yang tajam, ruang antarvertebra yang terbuka, serta visualisasi sendi facet yang jelas. Temuan ini konsisten dengan penelitian Fitri (2020) dan (Libriani & Diartama, 2019) yang menjelaskan bahwa sudut 10°–15° pada proyeksi aksial memberikan representasi anatomi vertebra secara lebih akurat karena sudut tersebut membentuk jalur sinar yang sejajar dengan ruang intervertebra, sehingga menghindari tumpang tindih dan distorsi bayangan.

Pada grafik untuk sudut 0°, keterbacaan citra dinilai rendah. Struktur vertebra C1 hingga C3 tampak kabur dan menyatu dengan bayangan mandibula. Hal ini dapat dijelaskan melalui temuan Polutu (2021) yang menyebutkan bahwa sinar datang tegak lurus terhadap bidang anatomi tanpa sudut penyudutan akan menghasilkan proyeksi vertikal, sehingga meningkatkan kemungkinan tumpang tindih antara struktur kranial (kepala) dan servikal (leher) atas. Oleh karena itu, sudut 0° kurang direkomendasikan dalam praktik radiografi servikal proyeksi AP cephalad (Pirmansyah *et al*., 2025).

Selanjutnya, grafik untuk sudut 5° menunjukkan peningkatan keterbacaan yang cukup signifikan, meskipun belum optimal. Kontur tulang mulai terlihat lebih jelas, meski

masih terdapat sedikit tumpang tindih. Penelitian Fitri (2020), Iskardyani (2021) dan Sapitri *et al*. (2024) yang menjelaskan bahwa penambahan sudut secara bertahap dapat membantu memisahkan proyeksi struktur servikal dari mandibula, serta memperjelas batas antarvertebra. Puncak kualitas citra ditemukan pada grafik sudut 10°, di mana hampir seluruh elemen struktur anatomi tampak jelas. Hasil ini juga diperkuat oleh penelitian Prastanti *et al*. (2017) dan Warsi (2021) yang menyimpulkan bahwa sudut 10° merupakan titik optimal dalam menghasilkan gambar diagnostik proyeksi AP cephalad, dengan distorsi geometris yang minimal dan tampilan struktur yang proporsional.

Sebaliknya, grafik untuk sudut 20°, 25°, dan 30° menunjukkan penurunan tajam dalam keterbacaan struktur. Evaluasi radiolog menunjukkan bahwa vertebra bawah (C6–C7) tampak mengalami elongasi, batas sendi facet kabur, dan ruang antarvertebra menyempit secara visual. Kondisi ini diperkuat oleh hasil penelitian Choi *et al*. (2025), Saputra & Bequet (2023) yang menemukan bahwa sudut >20° cenderung menghasilkan distorsi lateral, elongasi bayangan posterior, dan perubahan orientasi bayangan yang mengganggu identifikasi ruang diskus. Fenomena ini sejalan dengan prinsip divergensi sinar, di mana sudut penyudutan yang terlalu besar akan memperpanjang jalur sinar terhadap detektor dan menciptakan distorsi bentuk bayangan, baik perubahan ukuran *(size)* dan juga bentuk.

Secara keseluruhan, grafik hasil kuisioner menunjukkan hubungan yang kuat antara sudut penyudutan dan kualitas diagnostik citra. Dari sudut pandang teori fisika pencitraan, hasil ini membuktikan bahwa sudut penyudutan berperan besar dalam mempengaruhi ketajaman kontras anatomi, pembesaran bayangan, dan kesesuaian struktur proyeksi (Saputra & Bequet, 2023) (Wibowo *et al*., 2021) (Prastanti *et al*., 2017).

Dalam konteks klinis, penggunaan sudut yang tidak tepat dapat meningkatkan risiko eksposi ulang *(retake)*, yang bukan hanya memperpanjang waktu pemeriksaan, tetapi juga meningkatkan dosis radiasi kepada pasien (Mareta *et al*., 2024) (A. W. Fitri *et al*., 2025) (Yunita Yunita & Ayu Mahani, 2025). Oleh karena itu, sudut 10° pada proyeksi AP cephalad dapat dijadikan acuan praktis dalam penerapan teknik radiografi servikal yang aman, efisien, dan diagnostik.

Tabel 1. Hasil uji statistik menggunakan Uji Friedman

Variasi Sudut	P VALUE	Keterangan
0^0 5^0 10^0 15^0 20^0 25^0 30^0	0,00	Adanya Perbedaan

Tabel 2. Hasil uji *Mean Rank* dari Variasi Penyudutan

Penyudutan	*Mean Rank*
Sudut 0^0	1,14
Sudut 5^0	1,60
Sudut 10^0	2,21
Sudut 15^0	2,10
Sudut 20^0	1,45
Sudut 25^0	1,24
Sudut 30^0	1,21

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa sudut 10° cephalad menghasilkan nilai rerata peringkat *(mean rank)* tertinggi sebesar 2,21. Sudut ini dinilai mampu menampilkan kontur vertebra secara lebih tajam dan meminimalkan tumpang tindih antara struktur servikal dengan mandibula atau bagian posterior kranium. Sudut 5° dan 15° juga menunjukkan kualitas citra yang cukup baik, masing-masing dengan *mean rank* sebesar 2,10 dan 1,60. Sebaliknya, penyudutan ekstrem seperti 25° dan 30° menghasilkan penurunan nilai signifikan, masing-masing dengan peringkat 1,24 dan 1,21. Hal ini menandakan bahwa pada sudut yang terlalu tinggi terjadi elongasi struktur dan kemungkinan overproyeksi, yang menurunkan kualitas diagnostik citra.

Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Ardana (2025) dan Sefiana Nurul Hikmah *et al*., (2025) yang menemukan bahwa sudut 10°–15° memberikan kualitas gambar vertebra servikal paling informatif. Dalam

penelitiannya, sudut 15° masih dapat mempertahankan proporsi anatomi, tetapi dengan kecenderungan elongasi ringan pada vertebra atas. Sementara itu, dalam penelitian lainnya mencatat bahwa sudut 15° merupakan titik optimal dalam proyeksi RPO cervical, meskipun pada pendekatan AP cephalad, hasilnya cenderung lebih maksimal pada rentang 10° hingga 12° (Zuzilla *et al*., 2021) (Fitri, 2020).

Hasil dari penelitian ini juga diperkuat oleh sebuah studi yang menjelaskan bahwa penyudutan sinar pada proyeksi AP axial mempengaruhi pembesaran bayangan dan mengubah geometri bayangan vertebra, yang pada sudut tertentu dapat mengganggu kesesuaian antara proyeksi tulang dan ruang diskus (Saputra & Bequet, 2023).

Secara fisika pencitraan, hasil ini konsisten dengan teori divergensi sinar dan prinsip sudut datang dalam proyeksi bayangan. Sudut yang terlalu kecil (0°) menyebabkan proyeksi vertikal, yang menghasilkan tumpang tindih antara mandibula dan vertebra servikal atas (C3–C4). Sementara itu, sudut yang terlalu besar (≥25°) menyebabkan elongasi struktur vertebra bawah (C6–C7) dan memunculkan distorsi karena sinar menembus pada lintasan yang lebih miring terhadap bidang sagital, sehingga ketajaman batas antarvertebra menurun (Shrestha *et al*., 2017b) (*Prosiding-Webinar-Radiologi-2021*, n.d.).

Selain itu, penyudutan yang ekstrem dapat mengakibatkan pemanjangan bayangan posterior, sehingga menurunkan kontras anatomi dan menyulitkan identifikasi sendi facet dan diskus intervertebralis (Djernæs *et al*., 2017). Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penggunaan sudut 10° tidak hanya memberikan kualitas visual yang baik, tetapi juga secara praktis mengurangi potensi eksposi ulang (retake) (Yunita Yunita & Ayu Mahani, 2025) (Ahmed *et al*., 2022) (Puapichartdumrong *et al*., 2022). Hal ini penting mengingat dalam praktik klinis, eksposi ulang tidak hanya meningkatkan dosis radiasi kepada pasien, tetapi juga memperpanjang waktu pemeriksaan dan mengganggu alur kerja radiografer.

Nittayasupaporn, B., & kolega (2024); Misah & Aris Diartama (2025) menegaskan bahwa salah satu penyebab umum peningkatan dosis kumulatif pada pasien adalah pengulangan eksposi akibat kesalahan teknis dalam pengambilan gambar, salah satunya adalah ketidaktepatan sudut penyudutan.

Jika dibandingkan dengan penelitian yang mengevaluasi kualitas citra dengan variasi sudut 15° dan 20° pada proyeksi RPO servikal, ditemukan bahwa sudut 20° cenderung menyebabkan distorsi lateral pada struktur foramen intervertebralis (Zuzilla *et al*., 2021) (Warsi, 2021). Dalam konteks ini, meskipun proyeksi dan pendekatan berbeda, hasilnya menguatkan bahwa sudut penyudutan yang terlalu besar justru menurunkan kualitas representasi anatomi. Hasil penelitian ini, dengan titik optimal di 10°, memberikan kontribusi praktis bahwa penyudutan pertengahan lebih disarankan dalam proyeksi AP cephalad untuk memastikan kualitas diagnostik tetap tinggi tanpa menimbulkan distorsi geometris.

Analisis dari penelitian ini memiliki kekuatan karena menggunakan pendekatan statistik yang sesuai untuk data ordinal yang berasal dari penilaian subjektif oleh ahli. Uji Friedman sebagai metode non-parametrik memberikan hasil signifikan (p-value < 0,05), yang menunjukkan bahwa variasi sudut benar-benar berpengaruh terhadap kualitas citra. Validitas pengukuran ditunjang oleh penggunaan dua orang dokter spesialis radiologi sebagai penilai, serta penggunaan phantom sebagai objek tetap yang mengeliminasi variabilitas anatomi. Namun demikian, keterbatasan dari penelitian ini adalah tidak dilakukannya pengujian menggunakan objek manusia hidup, yang secara klinis dapat memberikan data tambahan terkait jaringan lunak dan posisi anatomi yang bervariasi.

Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa sudut penyudutan 10° pada proyeksi AP cephalad memberikan representasi anatomi vertebra servikal yang

paling optimal dari sisi visualisasi struktur dan interpretasi diagnostik. Temuan ini dapat dijadikan pedoman dalam praktik radiografi klinis untuk mengoptimalkan kualitas gambar serta mengurangi risiko paparan radiasi berulang. Ke depan, studi serupa dengan melibatkan objek manusia serta pengukuran kuantitatif seperti SNR *(Signal-to-Noise Ratio)* dan *CNR (Contrast-to-Noise Ratio)* dapat menambah ketajaman analisis terhadap hubungan geometri sudut dan mutu citra radiografi servikal.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi bahwa sudut penyudutan sinar sebesar 10° pada proyeksi radiografi servikal AP cephalad memberikan hasil citra yang paling optimal dibandingkan variasi sudut lainnya. Sudut ini terbukti menghasilkan visualisasi struktur vertebra servikal yang paling jelas, minim distorsi, dan paling mudah dibaca oleh evaluator profesional, sekaligus mengurangi potensi tumpang tindih antara struktur mandibula dan ruas-ruas atas servikal. Temuan ini tidak hanya menjawab tujuan penelitian untuk menentukan sudut terbaik dalam meningkatkan kualitas citra radiografi, tetapi juga memberikan kontribusi praktis dalam optimalisasi teknik pengambilan gambar pada pemeriksaan tulang leher.

Selain mendukung prinsip geometri pencitraan dalam ilmu fisika medis, hasil ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan teknis dalam standar prosedur radiografi servikal di klinik maupun institusi pendidikan. Ke depan, penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan dengan melibatkan objek manusia untuk melihat pengaruh variasi jaringan lunak dan posisi pasien yang lebih kompleks. Selain itu, pendekatan kuantitatif lanjutan seperti pengukuran *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR) sangat disarankan untuk memberikan validasi yang lebih mendalam terhadap kualitas diagnostik dari masing-masing sudut penyudutan yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmed, A. I., Babiker, A. A., Abbas, S. M., Alsulayyim, N., Dous, G. B., Alanazi, G., Almuhanna, M., Alotabi, H., & Almawash, A. (2022). Reject Analysis in Digital Radiography Prospective Study. *Scholars Journal of Applied Medical Sciences*, *10*(6), 896–899. https://doi.org/10.36347/sjams.2022.v10i06.006

Asriningrum, S., Ansory, K., & Hasan, P. T. (2021). Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra Radiografi dan Dosis Pasien Menggunakan Parameter Penilaian Signal to Noise Ratio (SNR) pada Pemeriksaan Thorax Posteroanterior dengan Menggunakan Pesawat Computed Radiografi. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, *7*(1), 15–18. https://doi.org/10.31983/jimed.v7i1.6650

Choi, C.-H., Back, S., & Kim, S. (2025). Effect of X-Ray Tube Angulations and Digital Sensor Alignments on Profile Angle Distortion of CAD-CAM Abutments: A Pilot Radiographic Study. *Bioengineering*, *12*(7), 772. https://doi.org/10.3390/bioengineering12070772

Djernæs, J. D., Nielsen, J. V., & Berg, L. C. (2017). Effects Of X-Ray Beam Angle And Geometric Distortion On Width Of Equine Thoracolumbar Interspinous Spaces Using Radiography And Computed Tomography—A Cadaveric Study. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, *58*(2), 169–175. https://doi.org/10.1111/vru.12466

Fitri, A. W., Mahanani, A., & Fakhrurreza, M. (2025). *Analisis Pengulangan (Repeat) Radiograf Computed Radiography Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama Semarang*. *6*.

Fitri, S. N. A. (n.d.-a). *Program Studi Diploma Iii Radiologi Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas 'Aisyiyahyogyakar Ta*.

Fitri, S. N. A. (n.d.-b). *Program Studi Diploma Iii Radiologi Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas 'Aisyiyahyogyakar Ta*.

Gunawan, C. F. (n.d.). *Program Studi Diploma Iii Teknik Radiologi Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas Awal Bros 2025*.

Iskardyani, D., & Si, M. (n.d.). *Redha Okta Silfina, M.Tr.,Kes (*.

Kusramadana, D., Pontjowijono, D., & Syamsarifin, A. (n.d.). *Teknik Pemeriksaan Radiografi Vertebrae Cervical Dengan Klinis Cervical Root Syndrome (CRS)*.

Libriani, K. C., & Diartama, A. A. (2019). *Perbedaan Informasi Anatomi Pada Pemeriksaan Columna Vertebrae Coccygeus Proyeksi Ap-Axial Dengan Variasi Arah Sinar 100 Dan 150 Caudad*. *3*(1).

Mareta, S., Sari, O. P., & Zahara, W. (n.d.). *Analisis Faktor Pengulangan Radiograf (Repeat) Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum Daerah Padang Pariaman*.

Misah, A., & Aris Diartama, A. A. (2025). Analisis Pengulangan (Repeat) Eksposure pada Modalitas Digital Radiography (DR) di Rumah Sakit Daerah (RSD) Mangusada Badung: Analysis of Repeat Exposure on Digital Radiography (DR) Modality at Mangusada Badung Regional Hospital (RSD). *Jurnal Surya Medika*, *11*(2), 99–105. https://doi.org/10.33084/jsm.v11i2.7716

Oleh, D. (n.d.). *Study Literature Prosedur Pemeriksaan Radiografi Ossa Pedis Pada Pasien Multiple Trauma*.

Oleh, D., & Polutu, R. (n.d.). *Study Literature Riview Teknik Pemeriksaan Radiografi Vertebrae Cervical Pada Kasus Trauma*.

Oleh, D., & Warsi, T. (n.d.). *Literature Study Of Differences Of Lumbosacral Vertebrae Anatomic Images Of Lumbosacral Joint Lateral Projection With Variation Of Angle Directions*.

Pirmansyah, A., Utami, M. P., & Zanariah. (2025a). Perbandingan Hasil Radiograf pada Variasi Derajat Cervical AP Axial dengan Klinis Cervical Root Syndrome di Rumah Sakit Siloam Sriwijaya Palembang Tahun 2025. *JURNAL LENTERA ILMIAH KESEHATAN*, *3*(2), 28–35. https://doi.org/10.52120/jlik.v3i2.125

Pirmansyah, A., Utami, M. P., & Zanariah. (2025b). Perbandingan Hasil Radiograf pada Variasi Derajat Cervical AP Axial dengan Klinis Cervical Root Syndrome di Rumah Sakit Siloam Sriwijaya Palembang Tahun 2025. *Jurnal Lentera Ilmiah Kesehatan*, *3*(2), 28–35. https://doi.org/10.52120/jlik.v3i2.125

Prastanti, A. D., Rezki, S., & Wibowo, A. S. (2017). Analisis Variasi Penyudutan Arah Sinar Terhadap Informasi Anatomi Pedis Proyeksi Anteroposterior. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, *3*(1), 225–230. https://doi.org/10.31983/jimed.v3i1.3189 *Prosiding-Webinar-Radiologi-2021*. (n.d.).

Puapichartdumrong, P., Eakpunyakul, N., Tanpumiprathet, S., Khueankaew, P., Saelim, P., & Piyapattamin, T. (2022). Efficacy of a newly designed angulation-adjustable film holder for reducing cone-cutting errors and saving time in horizontal tube-shift technique by dental students. *Heliyon*, *8*(11), e11567. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11567 *RISKA ARDANA*. (n.d.).

Rusyadi, L., Daryati, S., Rochmayanti, D., & Kurniawan, A. N. (2021). Analisis Noise Pada Radiografi Thorax Pulmonum Pada Penerapan Modifikasi Faktor Eksposi Aturan 10 kV. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, *7*(2), 70–76. https://doi.org/10.31983/jimed.v7i2.7473

Sapitri, W., Mufida, W., & Nugroho, A. (2024). *Teknik pemeriksaan radiografi vertebrae cervical dengan klinis cedera kepala berat (CKB)*. *2*.

Saputra, R., & Bequet, A. Y. (2023). Kualitas Informasi Anatomi Radiograf pada Pemeriksaan Sternum dengan Variasi Penyudutan Arah Sinar. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, *9*(1), 36–40. https://doi.org/10.31983/jimed.v9i1.9626

Sefiana Nurul Hikmah, Amril Mukmin, & Ayu Mahanani. (2025). Prosedur Pemeriksaan Radiografi Vertebrae Cervical pada Kasus Phlegmon di Instalasi Radiologi RSUD Kota Yogyakarta. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Kedokteran*, *4*(1), 294–307. https://doi.org/10.55606/jurrike.v4i1.4997

Shrestha, S., Maharhan, S., Khanal, U., & Humagain, M. (2017a). Evaluation of image quality in cervical spine lateral

radiographs. *Journal of Chitwan Medical College*, *6*(1), 30–33. https://doi.org/10.3126/jcmc.v6i1.16652

Shrestha, S., Maharhan, S., Khanal, U., & Humagain, M. (2017b). Evaluation of image quality in cervical spine lateral radiographs. *Journal of Chitwan Medical College*, *6*(1), 30–33. https://doi.org/10.3126/jcmc.v6i1.16652

Sianturi, H. A., Rianna, M., Sembiring, T., & Situmorang, M. (2018). *Pengukuran dan Analisis Dosis Radiasi Keluaran pada Pesawat Sinar-X yang Berusia Lebih dari 10 Tahun pada Rumah Sakit di Kota Medan*. *7*(1).

Sparzinanda, E., Nehru, N., & Nurhidayah, N. (2018). Pengaruh Faktor Eksposi Terhadap Kualitas Citra Radiografi. *Journal Online Of Physics*, *3*(1), 14–22. https://doi.org/10.22437/jop.v3i1.4428

Suparno, N. R., Faizah, A., & Zahra, H. A. (2024). Evaluasi Kualitas Radiograf Periapikal Teknik Bisektris: Kesalahan Penempatan Sudut Penyinaran dan Film. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, *10*(1), 1–9.https://doi.org/10.31983/jimed.v10i1.10554

Wibowo, A. S., Amin, K. A., Nurcahyo, P. W., Sulistiyadi, A. H., & Aryani, A. I. (2021). Informasi Anatomi Radiograf Dengan Dan Tanpa Penyudutan Tabung Sinar-X Pada Pemeriksaan Pedis Proyeksi AP. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, *7*(2), 84–88.https://doi.org/10.31983/jimed.v7i2.7477

Yunita Yunita & Ayu Mahani. (2025). Studi Kasus Repeat (Pengulangan) Radiograf dengan Modalitas Digital Radiography (DR) di Instalasi Radiologi RSUD Dr. Soehadi Prijonegoro Sragen. *Jurnal Ilmiah Kedokteran dan Kesehatan*, *4*(2), 227–241. https://doi.org/10.55606/klinik.v4i2.3929

Zuzilla, Yoshandi, T. M., & Hulmansyah, D. (2021). Comparison Of Anatomical Information Of Columna Vertebrae Cervical In 15 To 20-Degree Right Posterior Oblique Projection. *Medical Imaging and Radiation Protection Research (MIROR) Journal*, *1*(1), 8–12. https://doi.org/10.54973/miror.v1i1.74

Nittayasupaporn, B., Proukkerd, J., Permwong, M., & Tippayamontri, T. (2024). *Repeat film analysis and its implications for quality assurance in diagnostic radiology: An institutional case study*. Thai Journal of Radiological Technology, *49*(1), 26–39.