

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radiografi toraks merupakan modalitas pencitraan diagnostik yang dapat memvisualisasikan struktur jantung, paru-paru, dan mediastinum (Nasser & Akhloufi, 2023). Pemeriksaan ini menjadi standar evaluasi awal untuk menilai kondisi kardiopulmoner serta mendeteksi berbagai patologi klinis seperti pneumonia, tuberkulosis, efusi pleura, hingga kardiomegali atau pembesaran jantung (Shafiee et al., 2022). Meskipun modalitas canggih seperti *Computed Tomography* (CT-scan) dan *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) terus berkembang, radiografi toraks tetap menjadi pilihan utama. Hal ini dikarenakan kemampuannya dalam memberikan gambaran yang memadai kelainan parenkim paru dan ukuran jantung, dipadukan dengan ketersediaannya yang luas, biaya terjangkau serta kemudahan akses di berbagai fasilitas kesehatan (Renz et al., 2022). Keandalan informasi diagnostik dari pemeriksaan ini sangat bergantung pada kualitas citra yang dihasilkan (Sridharan et al., 2024).

Standar internasional untuk pemeriksaan radiografi toraks proyeksi Posteroanterior (PA) merekomendasikan penggunaan *Focus Film Distance* (FFD) sejauh 180cm untuk meminimalkan efek magnifikasi, terutama pada bayangan jantung (Alghamdi et al., 2021). Penyimpangan dari jarak ini berisiko menyebabkan efek magnifikasi (Alghamdi et al., 2021) untuk mempertegas ukuran obyek jaringan yang penting dalam diagnosa. Namun, realita di lapangan seringkali menggunakan variasi jarak yang berbeda akibat keterbatasan luas ruangan pemeriksaan atau kondisi alat, sehingga tercipta kesenjangan antara standar teoritis dengan praktik klinis (Edin et al., 2025).

Kualitas radiografi toraks ditentukan oleh interaksi kompleks antar parameter eksposi dan faktor geometrik (Khoirot et al., 2023). Ketepatan pengaturan Focus-Film Distance (FFD) menjadi kunci untuk memperoleh citra toraks yang representatif secara anatomis (Oktamuliani et al., 2022). FFD adalah variabel geometrik utama yang mengendalikan efek magnifikasi dan ketidaktajaman pada citra (Abdi et al., 2025). Penerapan FFD yang lebih pendek akan menyebabkan magnifikasi yang besar (Riandi, 2021). Sebaliknya, FFD yang lebih panjang akan meminimalkan magnifikasi dan memperbaiki resolusi spasial (Claus et al., 2024)

Kesenjangan FFD ini sangat memengaruhi akurasi Cardiothoracic Ratio (CTR). Secara klinis, penegakan diagnosis kardiomegali sangat mengandalkan perhitungan CTR, yakni rasio antara diameter transversal maksimum bayangan siluet jantung terhadap diameter transversal bagian dalam rongga toraks. Pengukuran objektif ini menjadi lini pertama yang krusial bagi klinisi untuk mendeteksi dini berbagai patologi kardiovaskular, seperti gagal jantung kongestif, hipertensi sistemik, maupun kelainan katup jantung. Nilai ambang batas normal CTR pada orang dewasa adalah $\leq 50\%$. Namun, nilai CTR ini sangat sensitif terhadap perubahan geometri akibat variasi jarak pemotretan (Torres et al., 2021). Penggunaan jarak yang lebih pendek dari standar akan menyebabkan magnifikasi

jantung yang tidak proporsional (Fan et al., 2024). Risiko magnifikasi ini pada akhirnya menyulitkan pengukuran batas transversal secara presisi dan dapat berujung pada diagnosis positif palsu (false positive) kardiomegali dengan nilai CTR terukur seolah-olah melebihi 50% (Mekonnen et al., 2025; Kusakunniran et al., 2023).

Keselaran antara faktor eksposi berupa tegangan tabung (kVp) untuk daya tembus dan arus-waktu (mAs) untuk kuantitas foton dengan pengaturan FFD pada radiografi digital sangat menentukan optimalisasi kontras citra (Melti et al., 2023; Dewi et al., 2022). Kontras tersebut dievaluasi secara objektif melalui parameter Contrast to Noise Ratio (CNR) yang menilai kemampuan sistem dalam membedakan sinyal objek, seperti batas jantung, dari noise di sekitarnya (Abdi et al., 2025; Yuan, 2024; Igarashi et al., 2024). Berdasarkan Hukum Kuadrat Terbalik (Inverse Square Law), variasi jarak FFD tanpa kompensasi mAs yang proporsional akan menurunkan intensitas radiasi dan memicu underexposure (Economou et al., 2022; Hena et al., 2023). Kondisi ini menciptakan efek ganda yang merugikan: selain mendistorsi ukuran akibat melebarnya sudut divergensi sinar-X, peningkatan noise secara langsung menurunkan nilai CNR sehingga mengaburkan batas Region of Interest (ROI) penting seperti siluet jantung dan mediastinum (Megawati et al., 2023; Bombinski et al., 2024).

Penerapan evaluasi kualitas citra berbasis data kuantitatif yang objektif, seperti penggunaan perangkat lunak ImageJ, saat ini masih sangat jarang dilakukan dalam rutinitas klinis (Abadi et al., 2024; Thunsward et al., 2023; Varghese et al., 2024). Beberapa penelitian terdahulu memang telah mengkaji dampak FFD terhadap CTR maupun kualitas citra seperti SNR (Suyudi et al., 2024; Tjuanda, 2021). Namun, studi-studi tersebut masih dilakukan secara terpisah atau hanya terbatas pada penggunaan objek phantom (Astria et al., 2025; Pratiwi & Santosa, 2021). Hingga saat ini, belum ada gambaran komprehensif mengenai pengaruh variasi jarak bertingkat (120 cm hingga 180 cm) terhadap stabilitas nilai CTR dan CNR secara bersamaan pada kondisi klinis.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, perlu dilakukan penelitian mendalam untuk menentukan nilai CTR sekaligus mengevaluasi kontras citra pada hasil pemeriksaan radiografi toraks dengan variasi FFD. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan ilmiah bagi radiografer dalam menentukan standar jarak pemeriksaan yang optimal demi mendukung akurasi pengukuran organ dan ketajaman diagnosis klinis.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan nilai *Cardiothoracic Ratio* (CTR) toraks dengan variasi *Focus Film Distance*.
2. Menganalisis hubungan antara perubahan ukuran geometri jantung (CTR) akibat variasi jarak dengan tingkat kejelasan anatomi di sekitarnya yang diukur melalui *Contrast to Noise Ratio* (CNR).

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan dasar ilmiah dalam prinsip optimasi penegakan diagnosa, kualitas citra, pengaturan faktor eksposisi dan jarak fokus film dalam pemeriksaan radiografi toraks melalui akurasi pengukuran *Cardiothoracic Ratio* (CTR). Tidak terlepas dari upaya pengendalian dosis pasien sesuai prinsip ALARA, standarisasi protokol dan evaluasi mutu di rumah sakit. Penelitian ini sangat memperkuat integrasi teori fisika radiasi dengan praktik klinis serta meningkatkan kompetensi analisis dan penelitian terapan di institusi pendidikan bidang radiologi dan fisika medis.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2025 sampai dengan Januari 2026 di Instalasi Radiologi Rumah Sakit TK II Pelamonia Makassar, Jl. Jend Sudirman No. 6, Pisang Utara, Kec. Ujung Pandang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

2.2 Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan campuran (*mixed method*) yang menggabungkan metode penelitian kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan kuantitatif diterapkan melalui metode eksperimental semu untuk mengumpulkan serta menganalisis data empiris secara objektif, yaitu berupa persentase ukuran CTR dan nilai numerik CNR pada berbagai variasi FFD. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengevaluasi dan mendeskripsikan kelayakan visual citra radiografi.

Desain penelitian yang digunakan adalah *post-test only design* yang dipadukan dengan analisis observasional deskriptif. Dalam pelaksanaannya, sampel citra radiografi toraks dikelompokkan berdasarkan variasi perlakuan jarak FFD, mulai dari 120 cm hingga 180 cm. Setelah seluruh citra didapatkan, dilakukan ekstraksi data kuantitatif pasca-perlakuan (*post-test*) melalui pengukuran nilai CTR dan CNR menggunakan perangkat lunak pengolahan citra digital. Hasil perhitungan numerik kemudian dikaji dan dinarasikan secara kualitatif untuk menilai kontribusi dari membesarnya bayangan jantung terhadap kejelasan detail anatomi sekitarnya, sehingga dapat ditarik kesimpulan yang komprehensif mengenai jarak pemeriksaan yang paling optimal.

2.3 Alat dan Bahan

2.3.1 Alat penelitian

Dalam penelitian ini, alat yang digunakan terbagi menjadi dua jenis, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras utama yang digunakan adalah pesawat Sinar-X Digital Radiography (DR) GE Optima Seri 061486 untuk proses akuisisi citra toraks. Operasional pesawat didukung oleh Workstation Konsol DR yang berfungsi mengolah data mentah menjadi citra digital serta melakukan *cropping* area toraks.

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan adalah aplikasi ImageJ yang berfungsi sebagai *DICOM viewer* sekaligus alat ukur utama untuk menentukan *Region of Interest* (ROI) dalam perhitungan CNR serta pengukuran diameter jantung untuk nilai CTR. Analisis statistik data dilakukan menggunakan perangkat lunak IBM SPSS versi 25.0 yang mencakup uji normalitas dan uji hipotesis guna melihat signifikansi pengaruh variasi FFD, sementara tabulasi data mentah dan visualisasi grafik hasil penelitian dikerjakan menggunakan Microsoft Excel.

2.3.2 Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer berupa 70 berkas citra radiografi digital berformat JPEG. Seluruh sampel citra merupakan hasil

pemeriksaan radiografi toraks proyeksi *Posteroanterior* (PA) pada pasien laki-laki dalam rentang usia 17 hingga 22 tahun yang memiliki postur tubuh normal, yang telah dipastikan memenuhi kriteria kelayakan diagnostik.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Pengumpulan Data dan Pengaturan Eksposi

Prosedur penelitian diawali dengan pengumpulan data primer berupa citra radiografi thoraks pasien. Seluruh citra diambil menggunakan variasi *Focus–Film Distance* (FFD) yang telah ditentukan, yaitu 120 cm, 130 cm, 140 cm, 150 cm, 160 cm, 170 cm, dan 180 cm.

Untuk Memastikan densitas optik citra tetap stabil (konstan) meskipun jarak berubah, pengaturan faktor eksposi didasarkan pada prinsip *Exposure Maintenance Formula* (Hukum Kuadrat Tebalik). Nilai tegangan tabung (kVp) diatur secara konstan, sedangkan arus-waktu (mAs) ditingkatkan secara proporsional seiring dengan penambahan jarak pemotretan. Berikut faktor eksposi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 dengan rincian perhitungan mAs pada setiap perlakuan disajikan pada tabel lampiran 1.

Tabel 1. Pengaturan faktor eksposi yang digunakan pada pemeriksaan radiografi *thorax*

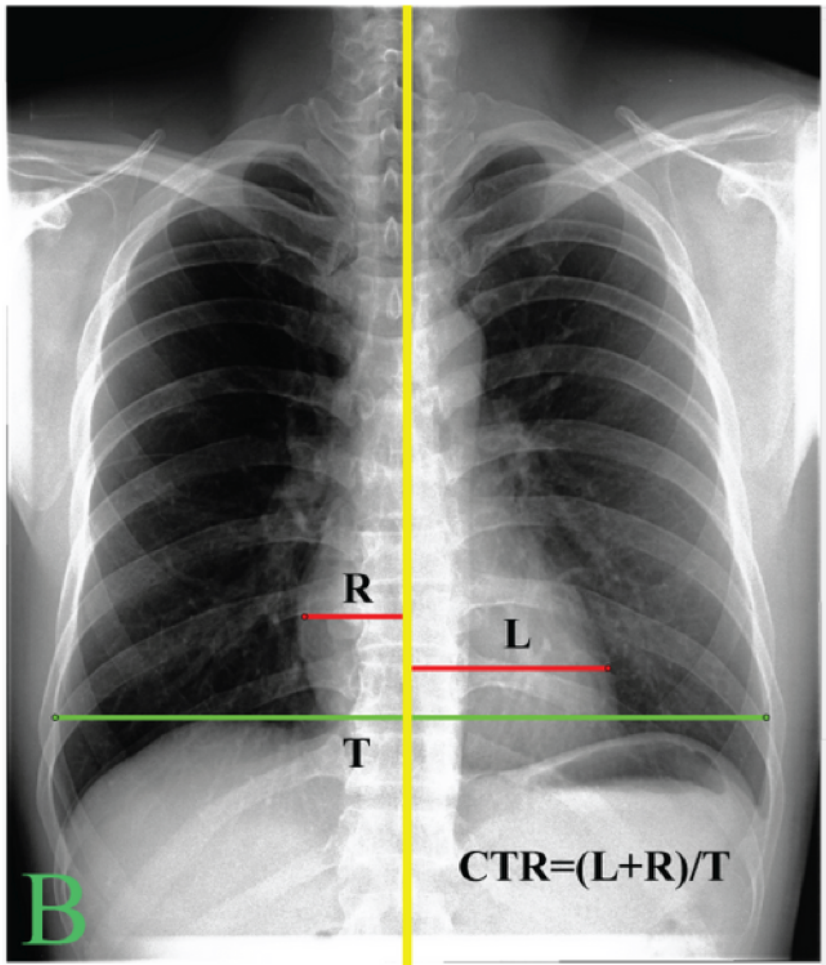
No.	FFD (cm)	Tegangan Tabung (kVp)	Arus-Waktu (mAs)
1	120	60	4,0
2	130	60	4,7
3	140	60	5,4
4	150	60	6,3
5	160	60	7,1
6	170	60	8,0
7	180	60	9,0

2.4.2 Analisis Citra

Citra radiografi digital dalam format JPEG kemudian diimpor ke dalam perangkat lunak ImageJ untuk analisis kuantitatif.

1. Pengukuran nilai *Cardhiotoracic Ratio* (CTR)

Pengukuran nilai CTR dilakukan dengan menarik garis vertikal pada *midline* (garis tengah vertebra), kemudian mengukur diameter transversal jantung dan rongga dada. Ilustrasi penarikan garis pengukuran CTR dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi penarikan garis pengukuran CTR

Nilai CTR dihitung menggunakan Persamaan 1 (Saiviroonporn, 2021):

$$CTR = \frac{R + L}{T} \quad (1)$$

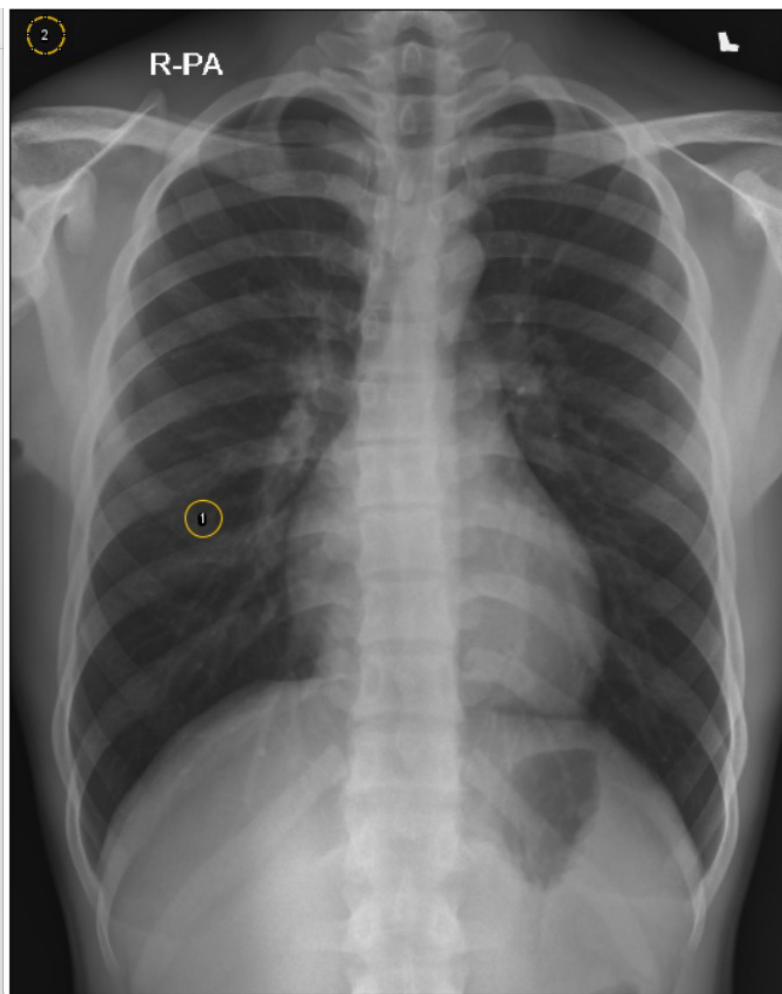
Dimana R merupakan jarak maksimum dari garis tengah ke batas jantung sisi kanan, L merupakan jarak maksimum dari garis tengah ke batas jantung sisi kiri, Sementara T merupakan diameter internal terlebar dari rongga toraks.

2. Pengukuran *Contrast to Noise Ratio* (CNR)

Pengukuran CNR dilakukan menjadi langkah esensial untuk mengevaluasi kualitas citra secara objektif, khususnya dalam menilai seberapa jelas batas anatomi dapat dibedakan dari jaringan di sekitarnya. Kejelasan kontras anatomi ini sangat krusial, karena batas tepi jantung yang tegas sangat dibutuhkan agar pengukuran

Cardiothoracic Ratio (CTR) dapat dilakukan secara presisi tanpa terdistorsi oleh noise visual akibat perubahan jarak (FFD).

Secara teknis, pengukuran CNR dilakukan dengan menetapkan Region of Interest (ROI) pada area anatomi yang memiliki perbedaan densitas yang signifikan menggunakan perangkat lunak ImageJ. Penempatan ROI pertama difokuskan pada area paru (sebagai sinyal objek) karena area ini bersifat radiolusen (berisi udara) dan mewakili detail utama rongga dada. Sementara itu, ROI kedua diletakkan pada area mediastinum atau luar paru (sebagai sinyal latar belakang/background) yang bersifat lebih radiopak (jaringan padat). Pemilihan kedua titik ini ditekankan karena kontras yang tercipta di antara tingkat kehitaman paru dan keabuan mediastinum adalah kunci utama yang memungkinkan siluet batas jantung tervisualisasi dengan tajam. Contoh penempatan ROI dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh penempatan ROI

Nilai CNR dihitung berdasarkan selisih sinyal antar kedua area dibagi dengan standar deviasi *noise*, menggunakan persamaan 2 (Song, 2004; Abdi et al., 2025):

$$CNR = \frac{S_A - S_B}{\sigma_{bg}} \quad (2)$$

Dimana S_A merupakan nilai mean ROI objek (paru-paru), S_B merupakan nilai mean ROI *background*, sementara σ_{bg} merupakan *standar deviation* pada ROI *background*.

2.5 Teknik Analisis Data

Proses pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak statistik IBM SPSS *Statistics*. Analisis data dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Analisis Deskriptif

Analisis ini dilakukan untuk mendeskripsikan karakteristik data pada setiap variabel penelitian. Data dari 70 sampel citra dikelompokkan berdasarkan variasi jarak (FFD), kemudian dihitung nilai Rata-rata (*Mean*), *Standard Deviation*, nilai minimum, dan maksimum dari hasil pengukuran *Cardiothoracic Ratio* (CTR) dan *Contrast to Noise Ratio* (CNR). Analisis ini bertujuan untuk memberikan gambaran distribusi data awal sebelum dilakukan uji hipotesis.

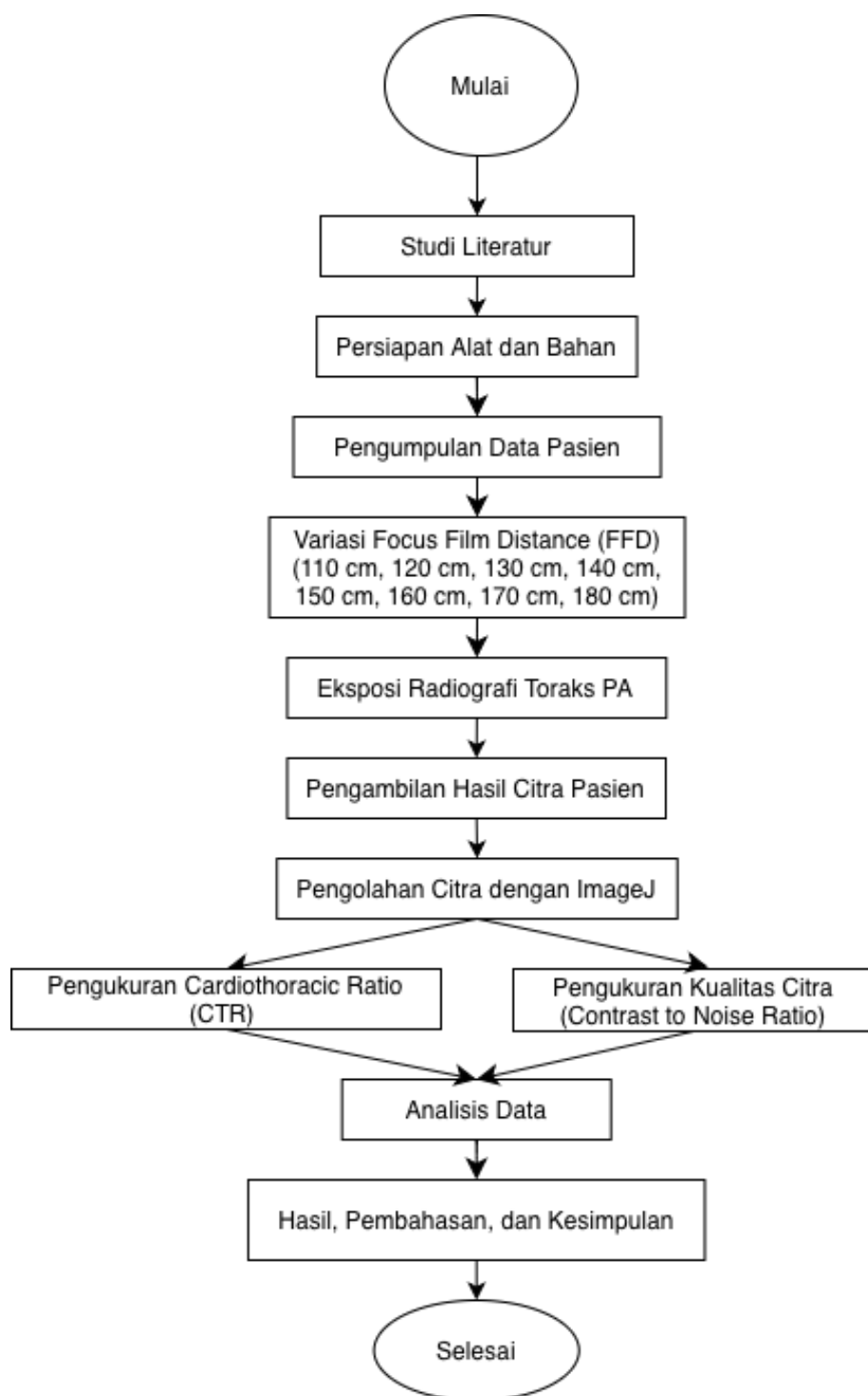
2. Uji Prasyarat Analisis

Sebelum menentukan jenis uji hipotesis, dilakukan uji prasyarat untuk mengetahui sebaran data; Uji Normalitas: Menggunakan uji Shapiro-Wilk karena jumlah sampel pada setiap kelompok kurang dari 50 ($n = 10$). Data dinyatakan berdistribusi normal jika nilai signifikansi (p) $> 0,05$; Uji Homogenitas: Menggunakan Levene's Test untuk memastikan varians data antar kelompok bersifat homogen. Data dinyatakan homogen jika nilai signifikansi (p) $> 0,05$.

Uji hipotesis dilakukan untuk membuktikan ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan pada nilai CTR dan CNR terhadap variasi FFD. Jika data terdistribusi normal dan homogen, maka digunakan uji parameter One-Way ANOVA. Jika data tidak berdistribusi normal atau tidak homogen, maka digunakan uji non-parametrik Kruskal-Wallis.

Dasar pengambilan keputusan statistik menggunakan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Kriteria pengujian adalah sebagai berikut: Jika Nilai Sig. ($p - value$) $< 0,05$: maka H_0 ditolak dan H_1 diterima (terdapat perbedaan yang signifikan). Jika Nilai Sig. ($p - value$) $> 0,05$: maka H_0 diterima dan H_1 ditolak (tidak terdapat perbedaan yang signifikan).

2.6 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian