

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mammografi digital merupakan salah satu modalitas pencitraan yang paling efektif untuk mendeteksi adanya kelainan kecil pada jaringan payudara sebagai indikator dini penyakit seperti kanker payudara. Kemampuan sistem ini dalam menampilkan detail anatomi halus memungkinkan deteksi dini lesi pada tahap awal perkembangan penyakit (Perez-Diaz et al., 2019). Dalam konteks jaminan mutu (Quality Assurance, QA) dan pengendalian mutu (Quality Control, QC), diperlukan alat atau *phantom* yang mampu menghasilkan citra dengan konsistensi dan kualitas tinggi untuk memastikan sistem mammografi bekerja optimal (Sundell et al., 2019). Evaluasi kualitas citra secara rutin sangat penting karena perbedaan kecil pada eksposur atau performa detektor dapat memengaruhi hasil diagnostik dan keselamatan pasien (Hejduk et al., 2023).

Akurasi diagnostik dari citra mammografi sangat bergantung pada kualitas citra yang dihasilkan, terutama pada kemampuan sistem untuk memperlihatkan struktur halus seperti serat, mikrokalsifikasi, dan massa, yang menjadi indikator penting dalam deteksi dini kanker payudara (Ślusarczyk-Kacprzyk et al., 2016). Kualitas citra yang buruk atau adanya noise dan artefak dapat menyebabkan lesi kecil seperti mikrokalsifikasi atau massa halus tidak terdeteksi oleh radiolog (Saunders Jr et al., 2007). Ketiga jenis objek visual yaitu serat, mikrokalsifikasi, dan massa, menjadi indikator kunci dalam evaluasi performa sistem mammografi karena mewakili berbagai tingkat kontras dan ukuran struktur jaringan payudara. Deteksi yang konsisten terhadap ketiga objek ini menandakan sistem telah mencapai kualitas diagnostik yang sesuai standar ACR untuk pemeriksaan pra-klinis (Alawaji et al., 2024). Kualitas citra harus dinilai secara berkala untuk memastikan sistem mamografi tetap memenuhi standar diagnostik. Standar American College of Radiology (ACR) mewajibkan setiap fasilitas mamografi untuk melakukan pengujian rutin menggunakan phantom ACR yang meniru anatomi jaringan payudara (ACR, 2018)(CIRSINC, 2013). Phantom ini berfungsi untuk menilai kemampuan sistem dalam menampilkan objek serat, mikrokalsifikasi, dan massa pada tingkat kontras rendah yang mendekati kondisi klinis sebenarnya (Barufaldi et al., 2015).

Selain penilaian visual, pengujian kualitas citra juga perlu didukung dengan parameter fisika seperti nilai Contrast-to-Noise Ratio (CNR), Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Modulation Transfer Fourier (MTF). CNR dan SNR menentukan tingkat kontras dan kejernihan citra dalam membedakan objek dari latar belakangnya (Boita et al., 2021). Untuk penilaian dosimetri, digunakan parameter Mean Glandular Dose (MGD) sebagai indikator utama karena jaringan glandular pada payudara merupakan bagian yang paling sensitif terhadap radiasi pengion, dan MGD digunakan untuk memperkirakan rata-rata dosis yang diserap oleh jaringan tersebut selama pemeriksaan mammografi (Dance et al., 2000). Evaluasi gabungan antara MGD, CNR, SNR dan MTF memungkinkan penilaian yang komprehensif terhadap kinerja sistem mamografi digital berbasis W/Rh, yang saat ini menjadi konfigurasi umum untuk menghasilkan energi sinar-X rendah dan kontras tinggi (Kartani et al., 2023).

Sistem mamografi digital dirancang untuk menghasilkan citra dengan resolusi spasial tinggi dan tingkat noise rendah. Dalam sistem ini, kombinasi target/filter tungsten/rhodium (W/Rh) banyak digunakan karena menghasilkan spektrum energi efektif 28–30 keV yang ideal untuk memvisualisasikan struktur jaringan payudara dengan ketebalan sedang hingga padat (ACR, 2018). Parameter MGD merupakan besaran fisika utama dalam dosimetri mamografi dan digunakan untuk menilai efisiensi sistem dalam memberikan kontras dengan paparan radiasi minimal. Perhitungan MGD dilakukan menggunakan metode *IAEA TRS-457*, yang melibatkan faktor *entrance surface dose (ESD)*, *backscatter factor (BSF)*, serta koefisien konversi tergantung pada ketebalan dan fraksi glandular phantom (Kartani et al., 2023). Nilai MGD yang direkomendasikan oleh ACR dan FDA adalah ≤ 3 mGy untuk payudara ekuivalen 4,2–4,5 cm (da Silva et al., 2015). Nilai Contrast-to-Noise Ratio (CNR) yang tinggi menunjukkan adanya perbedaan kontras yang jelas antara objek dan latar belakang, sehingga detail seperti mikrokalsifikasi lebih mudah diidentifikasi (Hill et al., 2020). Sementara itu, Signal-to-Noise Ratio (SNR) yang besar menunjukkan stabilitas sinyal terhadap variasi noise, menandakan kualitas citra yang lebih baik secara keseluruhan (Kato et al., 2010). Kedua parameter ini sangat berpengaruh terhadap kemampuan deteksi objek kecil seperti mikrokalsifikasi dan massa, karena peningkatan CNR dan SNR secara langsung meningkatkan visibilitas struktur berukuran mikro tanpa menambah dosis radiasi secara signifikan (Sarno et al., 2016).

Komponen penyusun Phantom standar ACR berbahan dasar akrilik dengan ketebalan ekuivalen 4,5 cm dan berisi objek uji berupa serat nilon (0,4–1,56 mm), mikrokalsifikasi CaCO_3 (0,13–0,40 mm), serta massa hemisferis (0,25–2 mm) (CIRSINC, 2013). Phantom ini menjadi alat utama dalam verifikasi performa sistem mamografi digital, di mana visibilitas ketiga jenis objek tersebut digunakan untuk menilai sensitivitas dan resolusi sistem. Penelitian ini mengadopsi struktur phantom standar ACR dengan membuat bahan dasar organik yang mendekati jaringan lunak yaitu lapisan gelatin sebagai media utama ditambah dengan pola susunan serat, mikrokalsifikasi dan massa.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pengujian sistem mamografi digital. (da Silva et al., 2015) mengevaluasi kualitas citra dan dosis pada 68 fasilitas mamografi di Brasil dan menemukan bahwa sekitar 50% fasilitas belum memenuhi batas MGD 2,5 mGy sesuai standar EUREF. (Sosu et al., 2018) melaporkan hubungan positif antara peningkatan ketebalan phantom dan peningkatan CNR tanpa peningkatan MGD yang signifikan pada sistem *Fujifilm Amulet W/Rh*. Penelitian (Barufaldi et al., 2015) membahas metode evaluasi visual dan digital untuk menilai citra phantom ACR. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa deteksi serat, mikrokalsifikasi, dan massa menjadi tolak ukur utama keberhasilan sistem mamografi. Nilai CNR yang tinggi dan SNR yang stabil diperlukan untuk menampilkan objek-objek tersebut dengan visibilitas optimal. (Celina et al., 2023) mengembangkan phantom in-house untuk uji kualitas citra mamografi digital menggunakan teknologi 3D printing dengan filamen PLA dan PVA yang dirancang menyerupai phantom ACR CIRS Model 015. Pengujian dilakukan pada sistem Siemens Mammomat Inspiration (W/Rh) di RS Kanker Nasional “Dharmas.” Hasilnya menunjukkan bahwa nilai CNR dan SNR phantom PVA mendekati nilai phantom ACR komersial, dengan kemampuan deteksi serat, massa, dan mikrokalsifikasi yang memenuhi standar ACR. Penelitian ini membuktikan bahwa

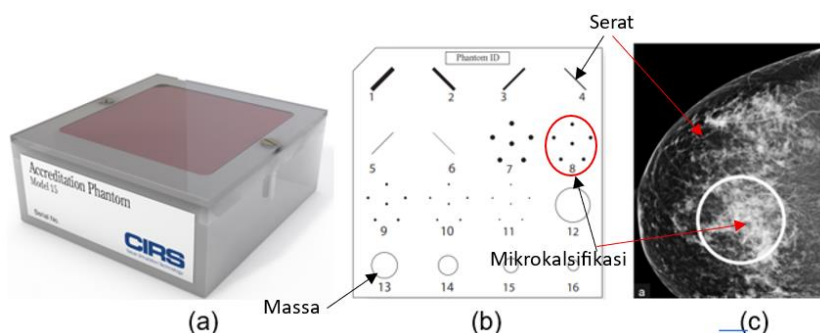
phantom in-house 3D printing dapat menjadi alternatif lokal berbiaya rendah untuk pengujian kualitas citra mamografi sesuai pedoman BAPETEN No. 2 Tahun 2022.

Sementara itu, (Anugrah et al., 2020) dan (Anugrah et al., 2021) mengembangkan phantom berbasis gelatin–PVA–ZnO–NaOH yang menunjukkan nilai koefisien atenuasi linear mendekati jaringan payudara ($0,343 \text{ cm}^{-1}$). Phantom ini memiliki stabilitas termal tinggi, homogenitas baik, serta densitas $1,05 \text{ g/cm}^3$, yang membuatnya berpotensi digunakan sebagai phantom alternatif untuk pengujian kualitas citra lokal.

Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini menguji phantom buatan yang mengkombinasikan akrilik dan gelatin. Akrilik di fungsikan untuk menempatkan objek uji dengan pola yang menyerupai susunan dalam phantom standar sedangkan gelatin komposit difungsikan sebagai jaringan lunak yang lebih soft daripada akrilik phantom. Bahan dasar gelatin–PVA–ZnO–NaOH adalah polimer alami yang memiliki kesetaraan radiologis dengan jaringan payudara manusia. Khusus gelatin komposit dibuat pada konsentrasi yang berbeda untuk mengevaluasi kualitas citra dan nilai dosis dengan parameter Mean Glandular Dose (MGD) dan CNR dan SNR. Perangkat pesaat mmaograf digital menggunakan filter W/Rh.

1.2 Evaluasi Kualitas Citra Mammografi

Phantom *American College of Radiology (ACR)* mammografi digunakan secara luas untuk evaluasi kualitas citra pada sistem mammografi digital. Phantom ini terdiri atas tiga tipe objek uji utama, yaitu serat (fibers), mikrokalsifikasi (specks/microcalcifications), dan massa (masses), yang masing-masing mensimulasikan struktur anatomi payudara seperti duktus laktiferus, kalsifikasi kecil, dan lesi padat (Ślusarczyk-Kacprzyk et al., 2016).



Gambar 1.1 Visual image phantom dan pasien

- (a). CIRS phantom mammo; (b). susunan obyek uji dalam phantom CIRS;
(c) mikrokalsifikasi dan kelenjar dalam payudara pasien

Serat merepresentasikan struktur halus seperti jaringan fibrosa dan pembuluh kecil, dengan diameter bertingkat antara 1.5 mm hingga 0.4 mm. Kemampuan sistem untuk menampilkan serat terkecil mencerminkan resolusi spasial detector (Song et al., 2012). Dalam penelitian pengembangan *in-house phantom*, sebagai phantom tiruan, serat biasanya dibuat menggunakan benang nilon karena memiliki densitas mendekati jaringan lunak dan menghasilkan kontras moderat yang sesuai untuk evaluasi resolusi (Celina et al., 2023). Obyek mikrokalsifikasi sering disimulasikan menggunakan

aluminium dioksida (Al_2O_3) karena material ini bersifat radiopak dan memberikan kontras menyerupai kalsifikasi klinis. Mikrokalsifikasi merupakan objek paling kritis dalam uji kualitas citra karena meniru deposit kalsium berukuran sangat kecil (0.1–0.5 mm) yang sering menjadi tanda awal kanker payudara, khususnya *ductal carcinoma in situ* (DCIS) (Huda et al., 2002). Phantom ACR menampilkan mikrokalsifikasi dalam bentuk kelompok titik-titik kecil dengan ukuran bertingkat untuk menilai sensitivitas sistem terhadap objek berkontras tinggi dan berukuran mikro (Celina et al., 2023).

Kemampuan sistem untuk mendeteksi mikrokalsifikasi dipengaruhi oleh ketajaman detektor dan tingkat noise, sebab objek berukuran sangat kecil mudah tertutupi graininess atau artefak citra (Alawaji et al., 2024). Objek uji ketiga yaitu massa yang dibuat dari plastik atau bahan lain dengan densitas sedikit berbeda dari material dasar phantom (akrilik atau gelatin), menghasilkan karakteristik kontras rendah menyerupai massa klinis (Celina et al., 2023). Massa mensimulasikan lesi payudara berbentuk bulat atau oval seperti kista atau tumor padat. Massa memiliki kontras rendah terhadap background, sehingga uji ini digunakan untuk menilai kemampuan sistem dalam mendeteksi detail *low contrast* dan ketajaman tepi objek (Thomas et al., 2013). Ketiga objek ini (serat, mikrokalsifikasi, dan massa) berfungsi sebagai indikator komprehensif untuk mengevaluasi performa sistem mamografi. Menurut standar ACR, sistem memenuhi kualitas citra apabila minimal 4 serat, 3 cluster mikrokalsifikasi, dan 3 massa dapat terlihat jelas (Haus et al., 2001).

Komponen yang berpengaruh terhadap spektrum energi sinar-X untuk modalitas mamografi, sangat ditentukan oleh jenis material target dan filter dalam tabung anoda. Umumnya, setiap pesawat mamografi tersedia 3 (tiga) kombinasi target/filter yang terdiri dari Molibdenum (Mo), Rhodium (Rh), ataupun Wolfram (W). Target Molibdenum (Mo) menghasilkan sinar-X dengan energi karakteristik sekitar 17.5 keV dan 19.6 keV, ideal untuk memberikan kontras tinggi pada jaringan payudara berdensitas rendah hingga sedang. Kombinasi Mo/Mo menghasilkan spektrum sempit (*quasi-monochromatic*) yang meminimalkan dosis pasien (Ko et al., 2013). Untuk payudara tebal atau berdensitas tinggi, digunakan kombinasi Mo/Rh atau Rh/Rh karena target Rhodium menghasilkan energi karakteristik lebih tinggi (20–23 keV). Kombinasi W/Rh dan W/Ag memberikan efisiensi tinggi dengan dosis rendah, terutama pada payudara berdensitas tinggi (Alkhalifah & Brindhavan, 2018).

Visual dari phantom mamografi dapat menampilkan struktur jaringan lunak dan halus dengan kontras tinggi, termasuk mikrokalsifikasi dan massa berukuran kecil sert dapat menargetkan perbedaan atenuasi yang sangat kecil antar jaringan. Keberhasilan mamografi dalam mendeteksi kelainan secara dini sangat bergantung pada kualitas citra yang dihasilkan. Parameter Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Contrast-to-Noise Ratio (CNR) menjadi penting dalam penentuan kualitas citra mamografi. SNR dihitung sebagai perbandingan antara sinyal rata-rata dengan deviasi baku noise, sedangkan CNR menghitung perbedaan sinyal antara objek dan latar belakang yang dinormalisasi terhadap noise (Dougherty, 1998). Nilai CNR dan SNR yang tinggi berkorelasi langsung dengan kemampuan deteksi mikrokalsifikasi dan massa, sesuai prinsip Rose criterion, di mana objek dapat terdeteksi andal bila $\text{CNR} > 3\text{--}5$ (Song et al., 2012). Dalam evaluasi digital, SNR dan CNR biasanya dihitung menggunakan perangkat lunak seperti RadiAnt DICOM Viewer, yang dapat menampilkan statistik ROI secara otomatis dan akurat

(Alawaji et al., 2024). Optimasi kualitas citra tidak dapat dilepaskan dari evaluasi dosis radiasi. Indikator dosis yang paling relevan pada mammografi adalah Mean Glandular Dose (MGD), karena dosis ini merepresentasikan energi radiasi yang diserap oleh jaringan kelenjar payudara, yang berperan utama dalam risiko induksi kanker. Standar ACR dan EUREF menyatakan bahwa untuk phantom 4.2 cm dengan 50% glandularity, nilai MGD tidak boleh melebihi 3 mGy per citra (Ślusarczyk-Kacprzyk et al., 2016).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan dengan menghadirkan phantom buatan berupa Phantom Image Standar (PIS) menyerupai Phantom CIRS mamography dan Phantom jaringan payudara berbahan dasar Gelatin. Kedua phantom yang dibuat selanjutnya akan dianalisis dengan pengolahan data berupa kualitas citra dan penentuan nilai MGD.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana karakteristik visual objek uji mikrokasifikasi, serat, dan massa pada phantom tiruan ACR mamografi.
2. Bagaimana evaluasi kualitas citra dan penilaian dosis pada phantom payudara buatan berbahan gelatin?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, penelitian ini dilakukan untuk:

1. Menentukan profil kualitas visual objek uji yaitu mikrokasifikasi, serat, dan massa dari citra phantom tiruan ACR mamografi.
2. Mengevaluasi kualitas citra dan penilaian dosis pada phantom payudara buatan berbahan gelatin.

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini akan dilaksanakan dari bulan Agustus-Oktober 2025 bertempat di Laboratorium Material dan Energi Departemen Fisika Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin dan Instalasi Radiologi RS. dr. Tadjuddin Chalid Makassar.

2.2 Alat dan Bahan

Tahap pembuatan phantom tiruan CIRS mammografi dan phantom jaringan payudara berbahan dasar gelatin dilakukan melalui beberapa tahap yaitu desain pola penempatan obyek uji di atas pelat akrilik dengan ketebalan 3 mm. Selanjutnya untuk phantom jaringan payudara buatan yang menggunakan bahan gelatin, dilakukan dengan menetapkan komposisi perbandingan antara gelatin, PVA dan aquades. Tujuan variasi komposisi yang menyusun phantom payudara buatan adalah mendapatkan berbagai karakteristik nilai citra dan dosis sebagai dasar optimasi.

Adapun bahan utama dalam pembuatan kedua phantom tersebut terdiri dari Polyvinyl Alcohol (PVA) 5%, Gelatin (Variasi massa), Zinc (Zn) powder sebagai filler, dan Sodium Hydroxide (NaOH) sebagai penetral larutan agar bersifat basa. Zn digunakan untuk memperkuat atenuasi energi sinar-X dalam obyek. Bahan yang digunakan sebagai obyek uji yang ditanam dalam pola akrilik yang telah dicetak antara lain: Serat nilon (simulasi serat), Aluminium dioksida (simulasi mikrokalsifikasi), serta bahan styrofoam yang dibentuk bulat (simulasi massa).

2.3 Prosedur Penelitian

Barikut adalah tahapan-tahapan dalam pembuatan phantom ACR tiruan yang digunakan untuk uji kualitas citra objek serat, mikrokalsifikasi dan massa, serta pembuatan phantom gelatin untuk pengujian kualitas citra dan dosimetri.

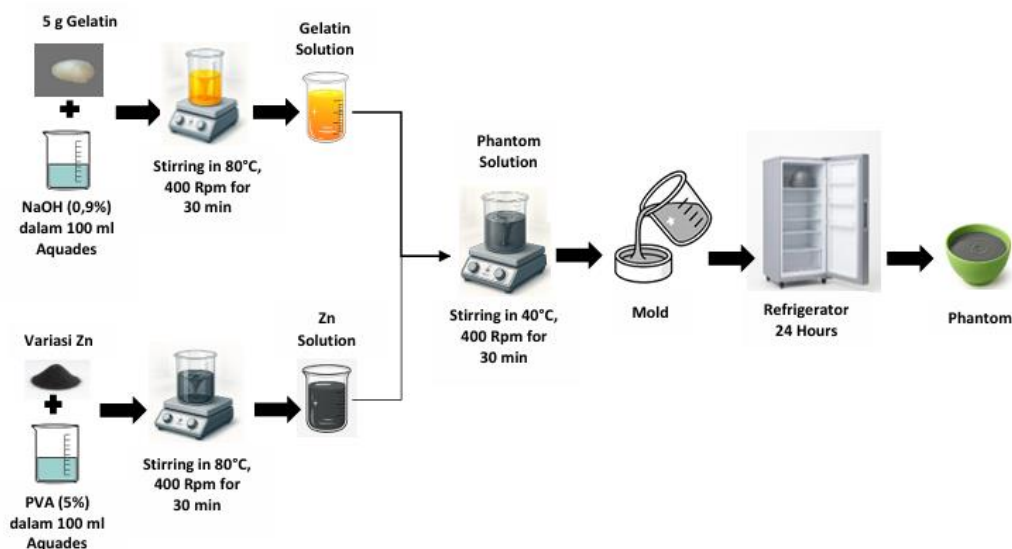
2.3.1 Desain Phantom Tiruan ACR

Pada tahap ini dilakukan pembuatan phantom ACR tiruan yang dirancang untuk menyerupai phantom ACR standar sebagai media evaluasi kualitas citra mamografi. Pembuatan phantom difokuskan pada simulasi tiga objek uji utama, yaitu serat, mikrokalsifikasi, dan massa, yang masing-masing merepresentasikan struktur klinis penting pada jaringan payudara. Pembuatan objek uji dilakukan menggunakan phantom berbahan dasar akrilik setebal 2 mm yang dilubangi pada bagian tengah sebagai tempat peletakan objek. Di dalam phantom tersebut diletakkan tiga jenis objek, yaitu benang nilon sebagai simulasi serat, aluminium dioksida (Al_2O_3) sebagai simulasi mikrokalsifikasi, dan bulatan plastik kecil sebagai simulasi massa. Ketiga objek uji ini disusun menyerupai konfigurasi dan urutan ukuran pada phantom ACR standar, kemudian ditutup dengan lembaran akrilik tambahan untuk menjaga posisi objek tetap stabil selama proses pencitraan.

Phantom ACR tiruan yang telah dibuat selanjutnya dilakukan pencitraan menggunakan sistem mamografi digital dengan kombinasi target/filter tungsten–rhodium (W/Rh). Pencitraan dilakukan dengan variasi tegangan tabung antara 30 hingga 34 kV, jarak fokus–reseptor sebesar 65 cm, serta parameter eksposi yang disesuaikan dengan kondisi klinis mamografi. Citra yang dihasilkan digunakan untuk menilai kemampuan sistem mamografi dalam menampilkan detail objek serat, mikrokalsifikasi, dan massa pada kondisi kontras rendah, serta sebagai dasar evaluasi kualitas citra phantom ACR tiruan terhadap phantom ACR standar.

2.3.2 Pembuatan Phantom Gelatin

Pada tahap ini dilakukan pembuatan phantom berbahan dasar gelatin dan polyvinyl alcohol (PVA) yang dikompositkan dengan penambahan Zinc (Zn) pada berbagai variasi konsentrasi sebagai simulasi karakteristik jaringan payudara. Penambahan Zn bertujuan untuk memodifikasi sifat atenuasi dan densitas phantom agar mendekati jaringan payudara dengan komposisi yang berbeda-beda. Phantom gelatin yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai media pengujian untuk menghitung estimasi dosis radiasi berupa Mean Glandular Dose (MGD), serta untuk mengevaluasi kualitas citra melalui parameter Signal-to-Noise Ratio (SNR), densitas citra, dan homogenitas phantom. Variasi konsentrasi Zn yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,50%, 1,00%, 1,25%, 1,50%, dan 2,00%, di mana masing-masing phantom diuji secara terpisah menggunakan sistem mamografi digital untuk menganalisis pengaruh perbedaan komposisi material terhadap respons dosimetri dan kualitas citra.



Gambar 2.1 Prosedur pembuatan phantom gelatin

Semua bahan dalam bentuk bubuk, sehingga diperlukan proses pelarutan (menjadi fasa cair) menggunakan aquades. PVA 5% (dibuat dari 5 g PVA dan 100 mL aquades) sedangkan NaOH 0,9% (dibuat dari 0,9 g NaOH dan 100 mL aquades). Homogenisasi setiap larutan dalam penelitian ini dilakukan dalam kondisi yang sama menggunakan magnetic stirrer (400 rpm; 80°C; 30 menit). Bubuk Zn sebagai filler diatur secara variasi yaitu:

Tabel 2.1 Komposisi pencampuran variasi Zn

No	Konsentrasi Zn dalam PVA (%)	Massa Zn (g)
1.	0,50	0,50
2.	1,00	1,00
3.	1,25	1,25
4.	1,50	1,50
5.	2,00	2,00

Tahap akhir melibatkan penggabungan larutan PVA+Zn dan larutan NaOH+gelatin ke dalam gelas beaker 1000 ml yang dihomogenkan sebelum dicetak untuk membentuk phantom. Phantom didinginkan dalam freezer suhu 4°C selama 24 jam untuk proses pembekuan. Jumlah seluruh phantom gelatin sebanyak 5 sesuai dengan konsentrasi komposisi Zn yang digunakan.

2.3.3 Pengambilan data

a. Pengujian citra Phantom ACR tiruan dengan pesawat Mamografi

Pesawat mamografi digital yang digunakan menggunakan kombinasi target/filter yaitu Wolfram/Rhodium (W/Rh) yang menghasilkan energi sinar-X untuk jaringan payudara dengan ketebalan sedang hingga tebal. Tegangan tabung untuk eksposi digunakan 3 (tiga) variasi yaitu 30, 32 dan 34 kVp.

b. Pengujian citra phantom payudara buatan berbahan dasar gelatin.

Masing-masing phantom yang sudah dibuat dengan variasi konsentrasi Zn, di scanning menggunakan sistem mamografi dengan kondisi eksposi yang sama dengan pengujian citra phantom ACR tiruan. Phantom gelatin ini menghasilkan nilai dosis eksposi yang dikenal dengan *Entrance Skin Dose* (ESD) yang langsung terbaca dilayar setelah dilakukan penyinaran. Nilai ini akan konversi menjadi nilai Kerma Udara dengan nilai faktor hamburan (*Backscatter Factor*) sebesar 1,12.

2.4 Perhitungan dan analisis data

Perhitungan MGD mengacu pada metode yang direkomendasikan oleh International Atomic Energy Agency (IAEA) TRS-457, dengan memasukkan faktor koreksi spektral yang sesuai untuk kombinasi target/filter yaitu W/Rh. Analisis yang dilakukan untuk menilai kesesuaian phantom buatan terhadap standar keselamatan radiasi mamografi serta untuk mendukung optimasi parameter eksposi.

MGD dihitung menggunakan rumus standar:

$$MGD = C_{DG50,Ki,PMMA} \times s \times K_i \quad (2.1)$$

Dengan: D_G : Mean Glandular Dose (MGD) untuk standard breast; K_i : Incident air kerma pada permukaan Phantom; $C_{DG50,Ki,PMMA}$: faktor konversi dalam komposisi payudara 50% kelenjar yang bergantung pada nilai HVL dan tebal payudara; s : faktor koreksi spektrum sinar-X berdasarkan kombinasi filter/target bawaan pesawat.

Kualitas citra dievaluasi dengan cara menghitung *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dari citra phantom buatan berbahan gelatin. Analisis kuantitatif citra mamografi dilakukan menggunakan nilai pixel (gray value) yang diekstraksi dari citra DICOM menggunakan RadiAnt DICOM Viewer. Nilai ini digunakan untuk menghitung parameter kualitas citra seperti SNR dan CNR. Parameter SNR digunakan sebagai indikator penting kualitas citra karena menggambarkan perbandingan antara kekuatan sinyal informasi citra dan fluktuasi noise latar belakang yang dihasilkan oleh sistem pencitraan. Nilai HU yang diperoleh dari proses pembacaan menggunakan software RadiAnt DICOM Viewer dilakukan melalui pembacaan nilai pixel dalam bentuk *Region of Interest* (ROI). Penempatan ROI untuk obyek dengan ROI untuk latar belakang ditetapkan untuk melihat rasio antara obyek dengan *background*. Persamaan untuk menghitung nilai SNR dan CNR citra sebagai berikut:

$$SNR = \frac{Mean_{Signal}}{SD_{Background}} \quad (2.2)$$

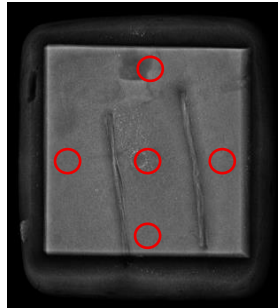
$$CNR = \frac{Mean_{Signal} - Mean_{background}}{SD_{Background}} \quad (2.3)$$

Dengan: SNR (Signal-to-Noise Ratio) sebagai rasio antara sinyal obyek dalam parameter nilai gray terhadap noise atau standar deviasi dalam satu ROI; CNR (Contrast-to-Noise Ratio) sebagai rasio antara selisih sinyal obyek dengan sinyal background terhadap noise atau standar deviasi dalam satu ROI; $Mean_{Signal}$ sebagai nilai rata-rata intensitas piksel pada obyek; $Mean_{background}$ sebagai nilai rata-rata intensitas piksel pada background; serta $SD_{background}$ sebagai simpangan baku nilai piksel pada area background yang mewakili noise sistem.

Analisis homogenitas phantom dilakukan untuk menilai keseragaman respons sinyal citra mamografi phantom. Homogenitas citra merupakan parameter penting dalam evaluasi kualitas citra karena ketidakseragaman distribusi intensitas piksel dapat meningkatkan noise terstruktur dan artefak, yang pada akhirnya berpotensi menurunkan kemampuan sistem mamografi dalam mendeteksi objek berkontras rendah seperti serat, mikrokalsifikasi, dan massa. Pada mamografi, homogenitas penting karena Lesi (mikrokalsifikasi/massa) memiliki kontras rendah, Variasi kecil pada latar belakang dapat menyembunyikan kelainan, Mamografi bekerja pada energi rendah → sangat sensitif terhadap ketidakseragaman detektor.

Evaluasi nilai homogenitas dilakukan dengan pembacaan metode ROI. Penempatan ROI membutuhkan 5 (lima) titik yang akan menjadi variasi keseragaman dan dasar penetapan nilai koefisien variasi (CV) obyek. Penggunaan beberapa ROI

bertujuan untuk menangkap variasi spasial respon detektor, mengingat homogenitas citra merupakan parameter dua dimensi yang tidak dapat direpresentasikan oleh satu ROI tunggal. Koefisien variasi (CV) digunakan untuk mengevaluasi stabilitas sinyal lokal, sedangkan persentase deviasi maksimum digunakan untuk menilai ketidakseragaman global berdasarkan perbedaan respon ekstrem antar area citra. CV kecil menunjukkan noise rendah CV besar menunjukkan terjadi fluktuasi lokal yang tinggi.



Gambar 2.2 Pola penempatan ROI untuk penentuan nilai homogenitas obyek/phantom

Berdasarkan variasi pembacaan 5 (lima) titik nilai intensitas keabuan dalam Gambar 2.2, dapat diperoleh nilai koefisien variasi (*Coefficient of Variation*) setiap ROI dan %deviasi untuk seluruh ROI, menggunakan persamaan:

$$CV (\%) = \frac{Mean_{signal}}{SD_{signal}} \times 100\% \quad (2.4)$$

$$deviasi \text{ antar ROI } (\%) = \frac{Mean_{signal}}{SD_{signal}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Sehingga secara keseluruhan untuk sistem mamografi selain nilai SNR dan CNR juga dapat dilakukan uji homogenitas dan keseragaman dalam obyek. Ketidakseragaman citra mamografi sering muncul di daerah tepi detektor, arah anoda–katoda (heel effect) serta area yang koreksi flat-field-nya tidak sempurna. Hal ini mencerminkan bahwa ROI pusat sebagai respon detektor, ROI kiri-kanan sebagai deteksi gradien horizontal/heel effect, sedangkan ROI atas bawah sebagai deteksi gradien vertikal.

2.5 Bagan Alir Penelitian

