

**PENGARUH kVp, mAs, DAN FILTER TERHADAP DOSIS
RADIASI DAN KUALITAS CITRA MAMMOGRAFI DIGITAL**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Fisika



Disusun Oleh:

FADHILLAH

NIM. 2108026041

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO

SEMARANG

2025

**PENGARUH kVp, mAs, DAN FILTER TERHADAP DOSIS
RADIASI DAN KUALITAS CITRA MAMMOGRAFI
DIGITAL**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Fisika



Disusun Oleh:

FADHILLAH

NIM. 2108026041

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fadhillah

NIM : 2108026041

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul

**PENGARUH kVp, mAs, DAN FILTER TERHADAP DOSIS
RADIASI DAN KUALITAS CITRA MAMMOGRAFI
DIGITAL**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 28 Mei 2025

Pembuat Pernyataan



Fadhillah
2108026041



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof. Dr. Hamka Ngaliyan Semarang
Telp.024-7601295 Fax.7615387

PENGESAHAN

Naskah Skripsi berikut ini:

Judul : Pengaruh kVp, mAs, dan Filter terhadap Dosis Radiasi dan Kualitas Citra Mammografi Digital

Penulis : Fadhillah

Jurusan : Fisika

Telah diujikan dalam sidang akhir/Munaqosyah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana Ilmu Fisika.

Semarang, 07 Juli 2025

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Penguji II,


Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc.

NIP.197703202009121002

Penguji III,


Hartono, M.Sc.

NIP.199009242019031006

Penguji IV


Irman Said Prastyo, M.Sc.

NIP.199112282019031009

Pembimbing I,

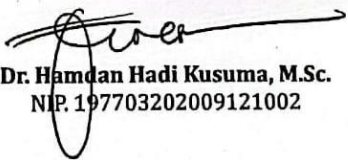

Muhammad Ardhi Khalif, M.Sc.

NIP.198210092011011010

Pembimbing II,


Heni Sumarti, M.Si.

NIP.198710112019032009


Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc.

NIP.197703202009121002

NOTA DINAS

Semarang, 28 Mei 2025

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamualailakum, Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh kVp, mAs, dan Filter terhadap
Dosis Radiasi dan Kualitas Citra
Mammografi Digital
Nama : Fadhillah
NIM : 2108026041
Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamualaikum, Wr.Wb.

Pembimbing I



Heni Sumarti, M.Si.

NIP. 198710112019032009

NOTA DINAS

Semarang, 28 Mei 2025

Yth. Ketua Program Studi Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang

Assalamualailakum, Wr. Wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : Pengaruh kVp, mAs, dan Filter terhadap Dosis Radiasi dan Kualitas Citra Mammografi Digital

Nama : Fadhillah

NIM : 2108026041

Program Studi : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqasyah.

Wassalamualaikum, Wr.Wb.

Pembimbing II


Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc.
NIP. 197703202009121002

ABSTRAK

Mammografi merupakan metode pencitraan yang penting dalam deteksi dini kanker payudara, oleh karena itu diperlukan kualitas citra yang optimal dengan dosis radiasi yang tidak berlebihan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi tegangan tabung (kVp), arus (mAs), dan filter terhadap dosis radiasi dan kualitas citra mammografi digital. Pengukuran dosis dilakukan menggunakan multimeter, sedangkan kualitas citra dievaluasi melalui deteksi struktur (serat, mikrokalsifikasi, massa) dan perhitungan SNR serta CNR menggunakan citra fantom kualitas citra mammografi. Hasil menunjukkan bahwa filter W/AI menghasilkan kualitas citra terbaik, tetapi diikuti dengan kenaikan dosis yang tinggi. Kesimpulannya, pemilihan filter dan faktor eksposi harus disesuaikan untuk mencapai keseimbangan antara kualitas citra dan dosis radiasi. Berdasarkan penelitian kombinasi 26 kVp, 100 mAs, dan filter W/Ag memiliki hasil paling optimal dengan dosis 3,165 mGy, deteksi struktur citra tinggi (5 serat, 3,5 mikrokalsifikasi, 4 massa), serta nilai SNR 18,758 dan CNR 4,655.

Kata Kunci: mammografi, filter, dosis radiasi, kualitas citra, SNR, CNR

MOTTO

Tidak perlu berlari kencang ketika langkah yang pasti bisa membawa sampai tujuan. Setiap proses dijalani dengan kesadaran, bukan karena terburu waktu, tapi karena menghargai makna dari setiap detail. Ketelitian bukan kelemahan, melainkan bentuk penghormatan terhadap apa yang sedang dikerjakan. Sebab dalam diam yang tenang, ada pemikiran yang bekerja dengan sungguh-sungguh.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pengaruh kVp, mAs, dan Filter terhadap Dosis Radiasi dan Kualitas Citra Mammografi Digital" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Nizar Ali, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Prof. Dr. H. Musahadi, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
3. Alwiyah Nurhayati, Ph.D. selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
4. M. Ardhi Khalif, M.Sc selaku Sekretaris Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

5. Heni Sumarti, M.Si selaku Pembimbing I yang senantiasa membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
6. Dr. Hamdan Hadi Kusuma, M.Sc selaku Pembimbing II yang senantiasa membimbing dalam proses penyusunan skripsi.
7. Nur Asni, S.Si selaku fisikawan medis dan seluruh Tim Radiologi RSD Gunung Jati Cirebon yang telah memberikan izin serta membantu dalam proses pengambilan data.
8. Istikomah, M.Sc selaku Wali Dosen penulis yang sudah membimbing penulis dari awal perkuliahan sampai penyelesaian skripsi.
9. Kedua orang tua penulis Bapak Drs. H. Asep Berlin dan Ibu Hj. Eli Komalasari, S.Pd yang selalu mendoakan, mendukung secara moril dan materil, serta menjadi sumber semangat utama penulis.
10. Kakak-kakak dan adik penulis, yang selalu mendoakan dan memberikan segala dukungan.
11. Seluruh sahabat dan teman penulis yang tidak bisa disebutkan namanya satu per satu. Terimakasih atas segala saran, motivasi, diskusi, bantuan, dan kerja samanya.

12. Tak lupa, penulis juga ingin menyampaikan rasa terima kasih dan apresiasi kepada diri sendiri atas ketekunan, kesabaran, serta semangat yang terus dijaga selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan dan kesalahan, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk karya mendatang yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk para pembacanya.

Semarang, 28 Mei 2025

Penulis



Fadhillah

2108026041

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN	xivi
LEMBAR PENGESAHAN.....	xivi
NOTA DINAS PEMBIMBING 1.....	xivv
NOTA DINAS PEMBIMBING 2.....	xiv
ABSTRAK.....	vi
MOTTO.....	xivi
KATA PENGANTAR.....	xivi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xiviv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	6
E. Batasan Masalah	7
BAB II LANDASAN PUSTAKA.....	9
A. Landasan Teori	9
1. Mammografi	9
2. Tegangan dan Arus sebagai Faktor Eksposi	17
3. Dosis Radiasi.....	19
4. Kualitas Citra Mammografi	24
5. Multimeter	30
6. Fantom Kualitas Citra Mammografi.....	32

7. Signal-to-noise ratio (SNR) dan Contrast-to-noise ratio (CNR)	34
B. Kajian Penelitian yang Relevan.....	35
BAB III METODE PENELITIAN.....	39
A. Jenis Penelitian.....	39
B. Tempat dan Waktu Penelitian	39
C. Instrumen Penelitian	39
D. Prosedur Penelitian.....	40
1. Pengambilan data dosis sinar X pada pesawat mammografi	40
2. Pengambilan data kualitas citra pesawat mammografi	42
E. Teknik Analisis Data.....	44
1. Analisis Data Dosis Mammografi.....	44
2. Analisis Data Kualitas Citra Mammografi	45
3. Penentuan Kombinasi Parameter Terbaik.....	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
A. Pengukuran Dosis Radiasi	53
B. Pengukuran Citra.....	57
1. Perhitungan Jumlah Serat, Mikrokalsifikasi, dan Massa	58
2. Hasil Analisis Nilai SNR dan CNR	67
BAB V KESIMPULAN	74
A. Kesimpulan	74
B. Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76

LAMPIRAN 83

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pesawat mammografi	9
Gambar 2.2	Skema penurunan intensitas radiasi setelah melewati material	14
Gambar 2.3	Ilustrasi spektrum sinar-x pada mammografi dengan filter W/Rh, W/Ag, dan W/Al	17
Gambar 2.4	Contoh tampilan citra payudara yang dihasilkan mammografi	26
Gambar 2.5	Contoh gambar dengan perbedaan kualitas kontras	27
Gambar 2.6	Contoh gambar dengan tingkat kekaburan berbeda	28
Gambar 2.7	Contoh gambar dengan tingkat derau berbeda	30
Gambar 2.8	Bentuk multimeter Raysafe	32
Gambar 2.9	Bentuk fantom kualitas citra PASMAM	33
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian dosis mammografi	40
Gambar 3.2	Set pengambilan data dosis radiasi pada mammografi	42
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian citra mammografi	43
Gambar 3.4	Set pengambilan data kualitas citra menggunakan fantom pada mammografi	44
Gambar 3.5	Contoh bentuk serat, massa dan mikrokalsifikasi yang terlihat pada fantom kualitas citra mammografi	46
Gambar 4.1	Histogram Data Dosis dengan Filter W/Al	54

Gambar 4.2	Histogram Data Dosis dengan Filter W/Rh	54
Gambar 4.3	Histogram Data Dosis dengan Filter W/Ag	55
Gambar 4.4	Histogram Jumlah Serat Variasi Filter W/Al	59
Gambar 4.5	Histogram Jumlah Serat Variasi Filter W/Rh	59
Gambar 4.6	Histogram Jumlah Serat Variasi Filter W/Ag	60
Gambar 4.7	Histogram Jumlah Mikrokalsifikasi Variasi Filter W/Al	61
Gambar 4.8	Histogram Jumlah Mikrokalsifikasi Variasi Filter W/Rh	61
Gambar 4.9	Histogram Jumlah Mikrokalsifikasi Variasi Filter W/Ag	62
Gambar 4.10	Histogram Jumlah Massa Variasi Filter W/Al	63
Gambar 4.11	Histogram Jumlah Massa Variasi Filter W/Rh	63
Gambar 4.12	Histogram Jumlah Massa Variasi Filter W/Ag	64
Gambar 4.13	Histogram Nilai SNR Filter W/Al	68
Gambar 4.14	Histogram Nilai SNR Filter W/Rh	68
Gambar 4.15	Histogram Nilai SNR Filter W/Ag	69
Gambar 4.16	Histogram Nilai CNR Filter W/Al	70
Gambar 4.17	Histogram Nilai CNR Filter W/Rh	71

Gambar 4.18	Histogram Nilai CNR Filter W/Ag	71
-------------	---------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kanker yang paling sering terjadi pada wanita adalah kanker payudara. Kanker payudara merupakan keganasan pada jaringan payudara (Soekersi et al., 2022). Menurut global cancer abservatory dari International Agency for Research on Cancer (IARC) pada tahun 2022 terdapat 19,9 juta kasus baru kanker di dunia dan menyebabkan 9,7 juta kematian. Pada tahun yang sama, kanker payudara menempati posisi pertama di Indonesia dengan 66.271 kasus atau 16,2% dari total kasus kanker lainnya, serta mencatat angka kematian sebesar 9,3%, menjadikannya penyebab kematian akibat kanker tertinggi kedua setelah kanker paru-paru (Global Cancer Observator, 2022).

Mammografi masih menjadi alat diagnosa paling efektif untuk *screening* dini kanker payudara untuk saat ini. Mammografi merupakan pemeriksaan gold standard dari skrining kanker payudara. Mammografi dapat mendiagnosis kanker payudara lebih awal dengan melihat mikrokalsifikasi sebelum adanya tanda klinis. Pemberian terapi yang sesuai

dapat dilakukan pada stadium awal dan dapat menurunkan angka kematian (Soekersi et al., 2022). Mammografi digunakan untuk melihat beberapa tipe tumor dan kista, dan telah terbukti dapat mengurangi mortalitas akibat kanker payudara (Nur, 2019). Skrining atau penemuan penderita secara dini dapat meningkatkan keberlangsungan hidup penderita kanker payudara (Solikhah, 2019).

Selain manfaat dari pesawat sinar X mammografi, alat tersebut juga dapat memberikan dampak negatif terhadap tubuh karena keluaran radiasi yang dihasilkan dari mammografijika terlalu besar dapat memberikan dampak radiasi yang berbahaya pada organ disekitar payudara (Safitri & Yufita, 2017). Selain pengendalian dosis radiasi, kualitas citra juga sangat penting untuk memastikan diagnosis yang akurat dan aman bagi pasien.

Kualitas citra yang dihasilkan menjadi sangat penting untuk diperhatikan, karena citra tersebut akan digunakan untuk mendiagnosa. Jika citra yang dihasilkan tidak baik maka akan berdampak pada kesalahan diagnostik yang dapat mengakibatkan efek biologis pada pasien. Oleh karena itu kontrol kualitas citra juga harus diperhatikan dalam diagnostik (Asni &

Utami, 2023). Citra pemeriksaan dengan mammografi diharapkan mempunyai kualitas resolusi citra yang tinggi agar citra mampu memperlihatkan mikrokalsifikasi sebagai pertanda tumor payudara. Besarnya dosis radiasi yang dipancarkan oleh pesawat sinar-X dipengaruhi oleh nilai tegangan (kVp) dan arus (mAs), di mana peningkatan keduanya dapat meningkatkan jumlah dan energi foton sinar-X yang dihasilkan. Sementara itu, kualitas dipengaruhi oleh kVp, mAs dan penggunaan filter (Wibowo et al., 2016). Selanjutnya, penting untuk memahami struktur organ payudara yang menjadi objek utama dalam pemeriksaan mammografi.

Organ payudara adalah organ yang sensitif terhadap radiasi pengion, jangan sampai paparan radiasi untuk pemeriksaan mammografi berlebih sehingga pada suatu saat justru menjadi pencetus timbulnya kanker sendiri (karsinogen) (Juliana et al., 2016). Mammografi merupakan modalitas pencitraan medis yang digunakan untuk mendeteksi kelainan pada jaringan payudara dengan kualitas citra yang tinggi dan dosis radiasi yang minimal. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kualitas citra dan dosis radiasi adalah nilai tegangan tabung (kVp) serta jenis

material filter yang digunakan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi kVp dan material filter dapat mempengaruhi kualitas citra pada pemeriksaan mammografi digital menggunakan fantom American College of Radiology (ACR) (Anggraini, 2022). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kVp dapat meningkatkan penetrasi sinar-X, tetapi berpotensi menurunkan kontras citra, sedangkan pemilihan material filter yang tepat dapat membantu mengoptimalkan kualitas citra dengan tetap mempertahankan dosis radiasi yang rendah.

Penelitian ini akan dilakukan analisis pengaruh nilai kVp dan jenis filter terhadap kualitas citra dan dosis radiasi keluaran pada pesawat mammografi digital. Dalam penelitian ini, analisis dosis radiasi dilakukan dengan cara mengukur langsung nilai dosis menggunakan multimeter yang terpasang pada pesawat mammografi digital. Multimeter digunakan untuk mencatat hasil pengukuran dosis radiasi pada berbagai variasi nilai kVp, mAs, dan filter anoda. Sementara itu, untuk analisis kualitas citra, digunakan pendekatan visual dan kuantitatif dengan cara menghitung jumlah tampilan struktur mikrokalsifikasi, serat, dan massa pada citra hasil akuisisi menggunakan

metode Visual Grading Analysis (VGA). Selain itu, dilakukan juga perhitungan nilai Contrast-to-Noise Ratio (CNR) dan Signal-to-Noise Ratio (SNR) sebagai parameter kuantitatif untuk menilai kontras dan kebisingan pada citra.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kVp, mAs, dan filter terhadap kualitas citra mammografi?
2. Bagaimana pengaruh kVp, mAs, dan filter terhadap dosis mammografi?
3. Manakah kombinasi kVp, mAs, dan filter yang paling optimal untuk menghasilkan kualitas citra terbaik dengan dosis yang aman?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menjawab rumusan masalah diatas. Berikut merupakan tujuan dari penelitian yang dilakukan:

1. Menganalisis pengaruh kVp, mAs, dan filter terhadap kualitas citra mammografi.

2. Menganalisis pengaruh kVp, mAs dan filter terhadap dosis radiasi yang diterima dalam pemeriksaan mammografi.
3. Menentukan kombinasi kVp, mAs, dan filter yang paling optimal untuk menghasilkan kualitas citra terbaik dengan dosis yang aman

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak, yaitu:

1. Bagi Peneliti dan Pembaca
 - a. Menambah wawasan dan pengetahuan dalam bidang radiologi, khususnya mengenai pengaruh kVp, mAs, dan filter terhadap kualitas citra dan dosis radiasi pada mammografi.
 - b. Memberikan kontribusi terhadap literatur ilmiah mengenai optimasi parameter eksposi untuk meningkatkan kualitas citra dan mengurangi dosis radiasi dalam pemeriksaan mammografi.

2. Bagi Tenaga Medis

Penelitian ini dapat membantu teknisi radiologi dan dokter dalam menentukan

pengaturan parameter eksposi yang optimal sehingga kualitas citra mammografi dapat ditingkatkan tanpa meningkatkan dosis radiasi yang diterima pasien secara signifikan.

3. Bagi Klinik dan Rumah Sakit

Penelitian ini dapat menjadi acuan dalam meningkatkan standar operasional prosedur (SOP) pemeriksaan mammografi, terutama dalam hal pengaturan eksposi untuk mencapai keseimbangan antara kualitas citra dan keamanan pasien.

4. Bagi Pasien

Dapat mengurangi risiko paparan radiasi berlebihan yang diakibatkan oleh penggunaan parameter eksposi yang tidak optimal, sehingga meningkatkan keselamatan pasien dalam prosedur mammografi.

E. Batasan Masalah

Pokok permasalahan penelitian perlu dibatasi supaya penelitian ini mampu mencapai sasaran serta tidak melenceng dari pokok permasalahan yang akan dicapai. Batasan permasalahan penelitian yang akan dikembangkan meliputi:

1. Penelitian ini menggunakan fantom kualitas citra untuk simulasi pengujian. Tidak melibatkan pasien manusia secara langsung.
2. Penelitian ini menggunakan multimeter raysafe X2 MAM Sensor untuk mengambil data dosis pengeluaran radiasi.
3. Variabel yang diteliti yaitu nilai tegangan tabung 20 kVp, 22 kVp, 24 kVp, 26 kVp, dan 28 kVp. Dengan nilai arus dan waktu eksposur yaitu 50 mAs, 100 mAs dan 150 mAs. Menggunakan jenis filter Aluminium (Al), Ag (Perak) dan Rh (Rodium).
4. Penelitian ini menggunakan pesawat mammografi digital merek METALTRONICA HELIANTHUS DBT (IAE) tipe XM1016T yang tersedia di RSD Gunung Jati Cirebon.
5. Penelitian menggunakan fantom kualitas citra mammografi merek artisnis tipe PASMAM Constancy German PAS 1054.
6. Pengukuran yang dilakukan hanya berfokus pada dua aspek utama, yaitu: kualitas citra dan dosis radiasi.
7. Penelitian dilakukan dalam periode tertentu di RSD Gunung Jati Cirebon.

BAB II

LANDASAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Mammografi

a. Tabung Mammografi

Mammografi adalah pemeriksaan radiografi untuk memperlihatkan struktur anatomi mammae (payudara). Pemeriksaan ini bertujuan untuk mendeteksi secara dini beberapa kelainan patologi pada payudara (Juliana et al., 2016). Gambar 2.1 merupakan gambar pesawat mammografi.



Gambar 2.1. Pesawat mammografi

Mammografidigital terdiri dari dua teknologi utama, yaitu *Computed Radiography* (CR) dan *Digital Radiografi* (DR). Detektor CR menggunakan kaset yang berisi layar fosfor untuk menangkap gambar. Setelah proses pencitraan, kaset dimasukkan ke dalam pembaca khusus untuk membaca dan memproses gambar sebelum fosfor dalam kaset dapat digunakan kembali. Sementara itu, DR tidak memerlukan kaset karena detektor sudah terintegrasi dengan perangkat mammografi. Setelah sinar-X berinteraksi dengan detektor, sinyal yang diserap segera diproses dan langsung menghasilkan gambar yang dapat dilihat (Timmermans et al., 2014).

Tabung sinar-X memiliki komponen utama berupa sumber elektron, katoda, anoda, dan selubung tabung untuk menjaga ruang hampa udara. Elektron dihasilkan dari filamen tungsten yang dipanaskan, kemudian dipercepat oleh tegangan tinggi antara katoda dan anoda, menghasilkan arus tabung. Energi dan jumlah sinar-X dikendalikan oleh dua sirkuit utama, sirkuit filamen yang mengatur

jumlah elektron dan sirkuit tegangan tabung yang menentukan percepatan elektron. Kombinasi keduanya memungkinkan tabung sinar-X menghasilkan radiasi yang cukup untuk pencitraan medis, termasuk mammografi.

Tabung sinar-X diposisikan dengan sisi katoda menghadap dinding dada pasien untuk memastikan intensitas sinar-X maksimal dan mengurangi pelemahan akibat tubuh pasien. Jendela berilium digunakan untuk meminimalkan pelemahan sinar-X. Spektrum sinar-X dalam mammografidikontrol oleh tegangan tabung, bahan target, serta jenis dan ketebalan filter logam yang digunakan. Pada mammografidigital, karena kontras gambar dapat disesuaikan selama tampilan, energi lebih tinggi lebih optimal. Oleh karena itu, beberapa mesin mammografidigital menggunakan target tungsten, yang lebih fleksibel dalam membentuk spektrum sinar-X (Dance et al., 2014).

Tabung sinar-X dalam mammografi umumnya menggunakan anoda berputar, dimana elektron dari katoda menumbuk bahan

target anoda pada sudut kecil. Ukuran titik fokus sangat berpengaruh terhadap kualitas gambar untuk mammografikontak, ukuran titik fokus 0,3 mm, sementara untuk mode pembesaran, ukuran 0,1 mm lebih sering digunakan. Titik fokus ini dapat bervariasi tergantung pada produsen perangkat (Juliana et al., 2016). Penurunan intensitas sinar-X setelah melewati bahan penyerap juga menjadi faktor penting dalam mammografi, karena mempengaruhi kontras dan kualitas citra yang dihasilkan.

Ketika sinar-X atau gamma melewati suatu material, sebagian radiasi akan diserap, sehingga intensitas yang keluar menjadi lebih kecil. Namun, energi tiap foton yang berhasil menembus bahan tetap sama. Jadi, bahan penyerap hanya mengurangi jumlah foton yang lolos, bukan energi masing-masing foton (Akhadi, 2000). Semakin tebal atau padat suatu jaringan, semakin banyak sinar-X yang diserap, sehingga bagian jaringan tersebut akan tampak lebih terang (putih) pada citra. Sebaliknya, jaringan yang lebih tipis atau kurang padat,

akan terlihat lebih gelap (hitam) karena menyerap lebih sedikit sinar-X. Hal inilah yang menyebabkan citra tulang terlihat lebih terang dibandingkan dengan jaringan lunak seperti lemak.

Secara matematis proses penurunan intensitas radiasi setelah melewati material dapat dinyatakan dengan persamaan (Akhadi, 2000):

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Keterangan:

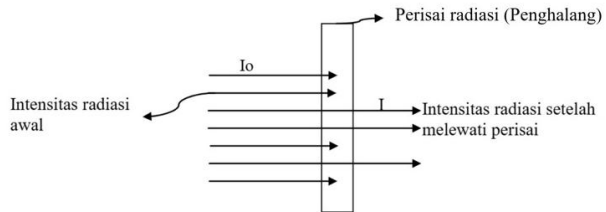
I = Intensitas radiasi elektromagnetik setelah melalui material

I_0 = Intensitas radiasi elektromagnetik sebelum melalui material

μ = Koefisien serapan linear bahan material

X = Tebal material

Gambar 2.2 menunjukkan penurunan intensitas radiasi setelah melewati suatu material.



Gambar 2.2. Skema penurunan intensitas radiasi setelah melewati material (Hartina et al, 2014)

b. Filter dalam Mammografi

Kemampuan suatu bahan dalam menyaring sinar-X sangat dipengaruhi oleh nomor atomnya (Z). Semakin tinggi nilai Z , maka semakin besar probabilitas terjadinya penyerapan sinar-X melalui efek fotoelektrik. Artinya, bahan filter dengan nomor atom tinggi lebih efektif dalam menyerap sinar-X berenergi rendah yang tidak berkontribusi terhadap pencitraan, namun hanya menambah dosis radiasi ke pasien. Oleh sebab itu, pemilihan filter seperti molibdenum ($Z=42$), rhodium ($Z=45$), atau perak ($Z=47$) didasarkan pada karakteristik nomor atomnya yang sesuai untuk menyaring spektrum sinar-X secara selektif guna memperoleh kualitas citra

optimal dengan dosis seminimal mungkin (Bushberg, 2012).

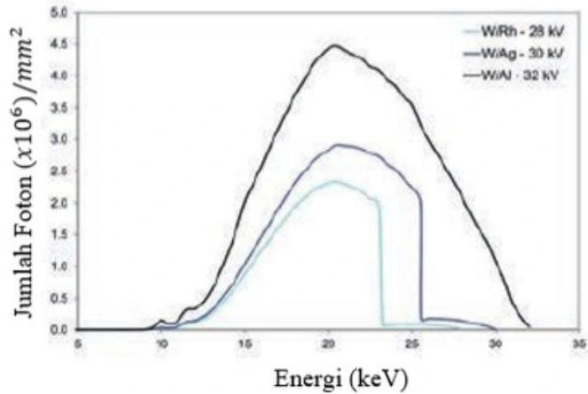
Pemilihan bahan target dan filter pada tabung sinar-X sangat mempengaruhi kualitas pencitraan dan dosis radiasi yang diterima pasien. Molibdenum (Mo) sering digunakan sebagai bahan target karena spektrum sinar-X yang dihasilkannya cocok untuk payudara dengan atenuasi rata-rata. Namun, jika hanya menaikkan tegangan tabung, bentuk spektrum tidak mengalami perubahan signifikan. Oleh karena itu, digunakan rhodium (Rh) sebagai filter, yang memiliki nomor atom lebih tinggi untuk meningkatkan penetrasi sinar-X. Kombinasi Mo/Rh menghasilkan spektrum yang lebih baik dibandingkan Mo/Mo, sehingga dapat mengurangi dosis radiasi tanpa mengorbankan kualitas gambar. Selain itu, penggunaan target rhodium dengan filter rhodium juga memberikan peningkatan performa pencitraan, terutama untuk payudara yang lebih tebal dan padat.

Penggunaan target tungsten (W) dengan filter aluminium, rhodium, atau perak

semakin umum karena memberikan fleksibilitas dalam pembentukan spektrum. Tidak adanya puncak karakteristik pada spektrum tungsten memungkinkan pencitraan yang lebih optimal dengan penetrasi sinar-X yang lebih baik serta dosis radiasi yang lebih rendah. Oleh karena itu, pemilihan kombinasi target dan filter yang tepat sangat penting dalam mammografi untuk menyesuaikan spektrum sinar-X, meningkatkan efisiensi pencitraan, serta menjaga keseimbangan antara kualitas gambar dan dosis radiasi yang diterima pasien (Dance et al., 2014).

Filter logam digunakan dalam mammografi untuk menyediakan penghilangan selektif energi sinar-x rendah dari sinar sebelum mengenai pasien. Dalam mammografi, tabung sinar-x anoda molibdenum bertindak sebagai jendela energi yang memberikan redaman sinar-x yang lebih besar baik pada energi rendah maupun di atas tepi serapan-K pada 20 keV, sementara memungkinkan sinar-x karakteristik molibdenum dari target dan sinar-x dengan energi serupa yang dihasilkan

oleh bremsstrahlung melewati filter dengan efisiensi yang relatif tinggi (Donini et al., 2014). Gambar 2.3 menunjukkan Ilustrasi spektrum sinar-x pada mammografi dengan filter W/Rh, W/Ag, dan W/Al.



Gambar 2.3. Ilustrasi spektrum sinar-x pada mammografi dengan filter W/Rh, W/Ag, dan W/Al (Dance et al., 2014)

2. Tegangan dan Arus sebagai Faktor Eksposi

Faktor eksposi adalah faktor yang mempengaruhi dan menentukan kualitas dan kuantitas dari penyinaran radiasi sinar-X yang diperlukan dalam pembuatan gambar radiografi (Sparzinanda et al., 2017).

Penggunaan foto thorax pada radiografi digital harus tetap memperhatikan kualitas

radiografi meliputi densitas, kontras, serta ketajaman, sehingga perlu dilakukan usaha-usaha untuk menekan faktor-faktor yang dapat menurunkan kualitas, salah satunya adalah faktor eksposi (Asriningrum et al., 2021).

Untuk dapat menghasilkan kualitas radiograf yang baik pada film-screen radiografi konvensional perlu pengaturan faktor eksposi yang tepat seperti kV dan mAs, sehingga tidak dihasilkan citra yang underexposed atau overexposed (Nuridzati et al., 2020).

Pemberian faktor eksposi yang tepat dapat mengurangi paparan radiasi yang diserap dengan tidak mengurangi hasil visual kualitas citra radiografi (Rasad, 2018).

Faktor eksposi (faktor penyinaran) adalah faktor yang menentukan dan mempengaruhi kualitas dan kuantitas dari penyinaran radiasi sinar-x dalam pembuatan citra radiografi. Faktor eksposi terdiri dari kVp (Kilo Voltage Peak), mA (mili Ampere), dan s (second) (Irsal, 2021).

Pengaturan kVp adalah salah satu faktor utama yang dapat mempengaruhi kualitas gambar dalam pencitraan sinar-X (Cahyani et al., 2021).

Atenuasi yang tinggi menyebabkan kontras radiografi juga tinggi. Namun penggunaan teknik radiasi dengan kVp yang terlalu rendah, menyebabkan dosis radiasi terserap oleh jaringan mammae juga tinggi. Karena itu diperlukan pemilihan energi radiasi yang tepat agar diperoleh citra yang baik untuk menegakkan diagnosis, dengan dosis yang masih berada pada batas yang diijinkan (Susanti et al., 2014).

Arus dan waktu berpengaruh pada intensitas sinar-X atau derajat terang. Dengan peningkatan mA akan menambah intensitas sinar-X dan sebaliknya. Oleh sebab itu derajat terang dapat diatur menggunakan mA. Waktu ekspos yang lama meningkatkan intensitas dari sinar-X. Untuk itu dalam setiap pengoperasian pesawat sinar-X selalu dilakukan pengaturan waktu (s) dan arus (mA) atau biasa disebut mAs bergantung pada obyek yang disinari (Suryaningsih, 2014).

3. Dosis Radiasi

a. Dosis Radiasi Umum

Dosis radiasi adalah jumlah radiasi ionisasi atau jumlah energi radiasi yang

melewati objek kemudian radiasi diserap atau diterima oleh materi yang dilaluinya.

Radiasi pengion adalah radiasi dengan energi tinggi yang mampu melepaskan elektron dari orbit suatu atom yang menyebabkan terbentuknya muatan atau terionisasi (Aulia et al., 2021).

Paparan radiasi pengion dapat menyebabkan perubahan pada materi biologis, terutama materi genetik dalam sel. Salah satu dampaknya adalah perubahan struktur kromosom pada sel limfosit darah. Semakin tinggi dosis radiasi yang diterima, semakin besar pula risiko kerusakan yang terjadi (Aryawijayanti, R; Susilo, Susilo; Sutikno, 2015).

Paparan radiasi yang berlebihan mampu mengakibatkan efek negatif pada tubuh manusia, efek radiasi pada tubuh bergantung pada dosis yang diterima dan terbagi kedalam dua jenis, yaitu efek deterministik dan stokastik. Efek deterministik muncul jika seseorang menerima dosis radiasi yang cukup tinggi, dan semakin tinggi dosisnya, semakin parah dampaknya. Sebaliknya, efek stokastik

tidak memiliki dosis ambang dan bisa terjadi meskipun dosis radiasinya rendah. (Miftahul Jannah Al Zubaidy et al., 2022). Contoh efek deterministik seperti kulit kemerahan, mual, kerusakan sel atau organ tertentu, hingga dosis yang tertinggi dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem syaraf pusat. Sedangkan untuk efek stokastik, efek ini tidak langsung terlihat, tapi dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko terkena kanker atau kelainan genetik. Oleh karena itu, dalam pemeriksaan medis seperti mammografi, penting untuk memperhatikan dosis radiasi yang diterima pasien agar tetap dalam batas yang aman (Akhadi, 2000).

b. Dosis Radiasi pada Mammografi

Dalam mammografi, terdapat tiga besaran dosimetrik utama, yaitu kerma udara insiden (IAK), kerma udara permukaan masuk (Ke), dan dosis kelenjar rata-rata (MGD). MGD merupakan parameter utama yang berkaitan dengan risiko kanker akibat radiasi dalam pencitraan payudara. Dosis mammografidipengaruhi oleh ukuran dan

komposisi payudara serta pengaturan pencahayaan yang digunakan. Pada mammografifilm layar, IAK meningkat seiring bertambahnya ketebalan dan densitas jaringan fibroglandular, yang juga menyebabkan peningkatan MGD. Untuk mengurangi dosis, energi sinar-X dapat ditingkatkan dengan menyesuaikan tegangan tabung, bahan target, dan filter sinar. Namun, peningkatan energi ini dapat menurunkan kontras gambar, sehingga perlu keseimbangan antara kualitas gambar dan keselamatan pasien (Dance et al., 2014).

Untuk payudara dengan ketebalan 4,5 cm, rata-rata MGD berkisar antara 1,5–1,8 mGy, sedangkan untuk ketebalan 8 cm, rata-rata MGD meningkat menjadi 3 mGy. MGD berbanding lurus dengan ketebalan dan komposisi jaringan (Rahmah Sari et al., 2022). International Atomic Energy Agency (IAEA) merekomendasikan $MGD < 3 \text{ mGy}$ untuk payudara terkompresi 42 mm dengan komposisi 50% kelenjar dan 50% adiposa. Besarnya MGD dipengaruhi oleh tegangan tabung (kVp), arus dan waktu (mAs), HVL,

kombinasi target-filter, serta ketebalan dan komposisi payudara.

Kerma udara menurut definisi adalah jumlah energi kinetik awal semua partikel pengion bermuatan yang dibebaskan oleh partikel tak bermuatan pada suatu bahan dengan masa dm , satuannya : Gy atau μGy (Nazaroh, 2010).

Kerma udara diperoleh dari pengukuran menggunakan multimeter X-ray yang ditempatkan di bawah detektor saat penyinaran (Rauf et al., 2020). kerma udara inilah yang digunakan untuk memperkirakan besarnya nilai dosis radiasi yang diserap pada payudara pasien (Rahmah Sari et al., 2022). Kerma udara (K) didefinisikan sebagai energi rata – rata yang diserap bahan (dE) per satuan massa bahan tersebut (dm). Secara matematis dituliskan persamaan:

$$K = \frac{dE}{dm}$$

Satuan dosis dalam SI adalah Joule/kg atau sama dengan Gray (Gy). Satuan lama dosis adalah rad (radiation absorbed dose). Satu gray sama dengan 100 rad.

Kerma juga dapat diukur menggunakan multimeter X-ray, setelah penyinaran dilakukan, multimeter X-ray secara otomatis menampilkan nilai kerma udara yang terukur. Alat ini bekerja dengan mendeteksi ionisasi yang terjadi akibat interaksi sinar-X dengan udara di dalam ruang detektornya. Radiasi yang masuk menyebabkan terbentuknya pasangan ion, yang kemudian dikumpulkan oleh elektroda dalam medan listrik. Arus yang dihasilkan dari proses ini dikonversi menjadi tegangan dan diproses oleh sistem elektronik dalam multimeter, sehingga langsung ditampilkan sebagai nilai kerma udara. Jadi, multimeter bekerja secara otomatis dengan mengukur efek ionisasi yang ditimbulkan oleh sinar-X dalam ruang ionisasinya, lalu mengubah hasil pengukuran tersebut menjadi angka dosis.

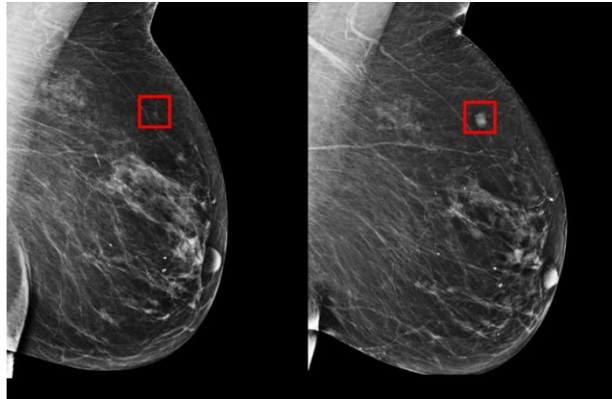
4. Kualitas Citra Mammografi

Kualitas citra radiograf merupakan kemampuan radiograf untuk menghasilkan kejelasan gambaran struktur anatomi yang baik pada sebuah radiograf. Kualitas radiograf yang

tinggi diperlukan untuk menentukan diagnosa yang tepat oleh seorang dokter spesialis radiologi. Kualitas radiograf dapat dinilai dari densitas dan kontras (Dartini et al., 2016). Pencitraan medis berhubungan dengan teknik dan proses untuk membuat citra dari tubuh manusia untuk keperluan medis menemukan, memeriksa atau mendiagnosis penyakit (Novar Setiawan & Suwija Putra, 2018).

Kualitas citra meliputi beberapa aspek penting, yaitu densitas, kontras, ketajaman, dan distorsi, sehingga perlu dilakukan berbagai upaya untuk menekan atau mengurangi faktor-faktor yang dapat menyebabkan penurunan kualitas citra tersebut (Ningtias et al., 2016). Diperlukan kualitas citra yang baik untuk memberikan informasi anatomi tubuh semaksimal mungkin yang mudah ditentukan ahli Radiolog atau dokter. Kualitas citra sangat berpengaruh dalam penentuan ketepatan diagnosa suatu penyakit bidang radiodiagnostik (Sparzinanda et al., 2017).

Gambar 2.4 menunjukkan contoh dari tampilan citra payudara yang dihasilkan oleh pesawat mammografi.



Gambar 2.4. Contoh tampilan citra payudara yang dihasilkan mammografi (Yala et al., 2019)

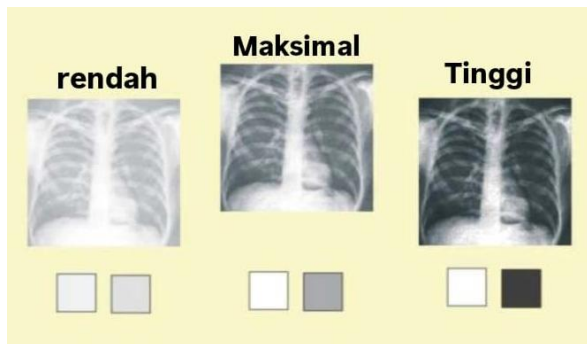
a. Kontras

Kontras sensitivitas menentukan seberapa baik sistem pencitraan dapat menampilkan objek dengan perbedaan kontras rendah, seperti jaringan lunak. Tujuan utama pencitraan medis adalah mengubah kontras fisik menjadi kontras visual agar objek lebih terlihat.

Kontras sensitivitas dipengaruhi oleh teknik pencitraan dan karakteristik alat. CT memiliki kontras lebih baik daripada radiografi

karena mampu mendeteksi perbedaan kecil dalam densitas jaringan. Dalam pencitraan digital, kontras dapat disesuaikan melalui pemrosesan gambar.

Kontras objek dalam gambar dapat diukur, baik pada film maupun tampilan digital. Untuk meningkatkan kontras, zat kontras seperti yodium dan barium digunakan karena kemampuannya menyerap sinar-X dengan baik. Dengan kontras optimal, struktur tubuh dapat terlihat jelas tanpa kehilangan detail. Gambar 2.5 menunjukkan perbedaan kualitas kontras dari sebuah gambar.

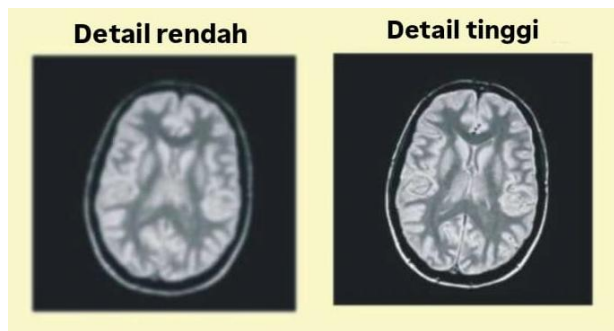


Gambar 2.5. Contoh gambar dengan perbedaan kualitas kontras (Sprawls, 1980)

b. Blurring (Kekaburan)

Blurring dalam pencitraan medis mengurangi ketajaman dan visibilitas detail

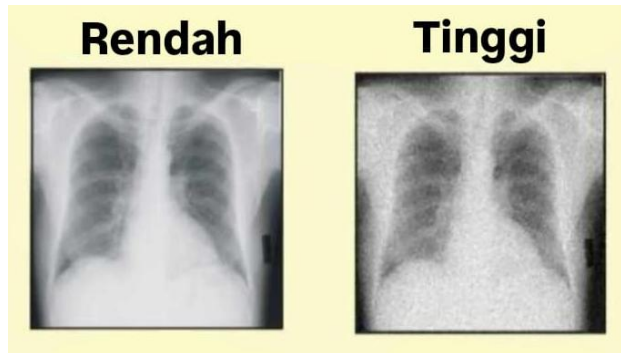
anatomi, sehingga membatasi kemampuan untuk melihat objek kecil. Dalam gambar yang lebih tajam, lebih banyak detail anatomi dapat terlihat, sementara gambar yang buram kehilangan informasi penting. Semakin buram gambar, semakin sedikit detail anatomi yang dapat dilihat, dan struktur dalam gambar juga tampak kurang tajam. Tingkat blurring dipengaruhi oleh karakteristik modalitas pencitraan serta pengaturan teknik pencitraan yang digunakan. Oleh karena itu, optimalisasi teknik pencitraan sangat penting untuk memastikan visibilitas detail yang cukup dalam diagnosis medis. Gambar 2.6 menampilkan contoh gambar yang memiliki tingkat kekaburan yang berbeda.



Gambar 2.6. Contoh gambar dengan tingkat kekaburan yang berbeda (Sprawls, 1980)

c. Noise (Derau)

Noise dalam pencitraan medis adalah gangguan visual yang mengurangi visibilitas objek dan struktur tertentu dalam gambar. Semua gambar medis memiliki tingkat noise tertentu, tetapi jumlah yang berlebihan dapat membuat gambar tidak layak untuk diagnosis klinis. Noise paling berdampak pada objek dengan kontras rendah, membuatnya sulit diamati. Kombinasi noise dan blurring menciptakan tirai ketidakjelasan, di mana noise mengaburkan objek berkontras rendah, sementara blurring mengurangi visibilitas objek kecil. Dalam pencitraan medis, penting untuk mengoptimalkan teknik pencitraan guna meminimalkan efek noise dan blurring, karena kedua faktor tersebut dapat mengganggu ketajaman dan kejernihan citra. dengan mengurangi gangguan tersebut, maka visibilitas detail anatomi yang diperlukan untuk diagnosis yang akurat. Gambar 2.7 menampilkan contoh gambar yang memiliki tingkat derau yang berbeda.



Gambar 2.7. Contoh gambar dengan tingkat derau yang berbeda (Sprawls, 1980)

5. Multimeter

X-ray multimeter adalah alat dosimeter radiasi yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi dalam satuan Gray (Gy) atau Sievert (Sv) selama periode waktu tertentu. Selain itu, alat ini juga dapat memberikan informasi mengenai tegangan (kVp) yang digunakan oleh pesawat sinar-X dalam menghasilkan keluaran radiasi. X-ray multimeter tersedia secara komersial dengan berbagai merek dan spesifikasi, diproduksi oleh berbagai vendor dari berbagai negara. Untuk memastikan kualitas dan keakuratannya, alat ini telah melalui proses standardisasi yang ditelusur melalui Secondary Standards Dosimetry Laboratory (SSDL) di bawah naungan

International Atomic Energy Agency (IAEA). SSDL berperan dalam melakukan kalibrasi terhadap peralatan dosimetri, sehingga setiap alat yang beredar memiliki akurasi yang terjamin dalam pengukuran dosis radiasi (Effendi, 2024).

RaySafe X2 adalah perangkat multimeter radiasi yang menggunakan sensor pengukuran sinar-X untuk berbagai aplikasi, termasuk Radiografi atau Fluoroskopi, Mammografi, CT-scan, dan Survey. Alat ini memungkinkan pengguna untuk memilih sensor yang sesuai dengan kebutuhan spesifik pengukuran. Salah satu keunggulan utama dari sensor X-ray X2 adalah desainnya yang tidak memerlukan pemilihan rentang atau mode khusus, sehingga lebih praktis dalam penggunaannya (Lestari, 2017). RaySafe terdiri dari unit dasar dan beberapa detektor eksternal untuk berbagai aplikasi, seperti Radiografi/Fluoroskopi (R/F), Mammografi (MAM), CT-scan, Survey, dan pengukuran cahaya. Penelitian ini menggunakan detektor MAM yang dirancang untuk mengukur dosis rendah dan tinggi dalam mammografi (Rani, 2020). Gambar

2.8 menampilkan bentuk dari multimeter Raysafe.



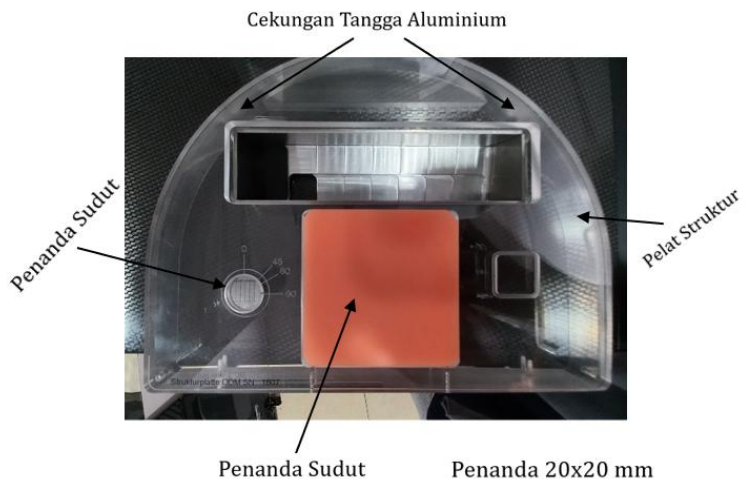
Gambar 2.8. Bentuk multimeter Raysafe
(Raysafe, 2025)

6. Fantom Kualitas Citra Mammografi

Kualitas citra menjadi faktor utama yang harus diperhatikan, terutama dalam skrining kanker payudara. Kualitas citra yang baik sangat penting untuk mendeteksi kelainan secara dini, sehingga dapat meningkatkan akurasi diagnosis dan efektivitas pemeriksaan (Anggraini et al., 2023).

Kualitas gambar mammografi sangat penting dalam skrining dini kanker payudara. Untuk memastikan kualitas optimal dalam proses diagnostik, terdapat pedoman global yang

merekomendasikan tindakan sistematis, seperti standarisasi teknik pencitraan dan prosedur mammografi. Selain itu, aturan ini juga bertujuan untuk menjamin proteksi radiasi serta memastikan evaluasi berkala terhadap gambar mammografimenggunakan phantom payudara. Phantom ini berperan penting dalam jaminan kualitas, evaluasi kualitas gambar, dan karakterisasi dosis yang akurat, sehingga dapat membantu dalam standarisasi dan peningkatan akurasi diagnostik dalam mammografi(Barufaldi et al., 2015). Gambar 2.9 menampilkan gambar fantom kualitas citra untuk pesawat mammografi,



Gambar 2.9. Bentuk fantom kualitas citra PASMAM

7. *Signal-to-noise ratio (SNR)* dan *Contrast-to-noise ratio (CNR)*

SNR adalah ukuran penting untuk melihat seberapa bagus sebuah gambar. Dengan SNR yang baik, dapat memudahkan melihat perbedaan antara satu bagian gambar dengan bagian lainnya (Astria, 2024). SNR merupakan perbandingan antara besaran amplitudo sinyal dan besaran amplitudo *noise*. Nilai SNR ini kemudian berfungsi sebagai indikator penting dalam menentukan kualitas citra (Marwah et al., 2024). Nilai SNR sangat bergantung pada kekuatan sinyal yang diperoleh dari organ. Semakin kuat sinyal yang dihasilkan oleh organ, maka nilai SNR yang didapatkan juga akan semakin tinggi (Ariadi et al., 2023).

CNR adalah ukuran kuantitatif yang membandingkan rasio kontras dengan noise dalam citra. Penggunaan CNR ini secara efektif menghilangkan subjektivitas pengamat (manusia) dalam proses penilaian kualitas citra (Marwah et al., 2024). CNR menunjukkan tingkat kemudahan dalam membedakan intensitas sinyal objek

dengan latar belakangnya. Citra yang memiliki nilai CNR tinggi akan lebih mudah untuk didiagnosis karena objek yang difoto dapat dibedakan dengan jelas dari latarnya. Sebaliknya, citra dengan nilai CNR rendah akan menyulitkan diagnosis akibat sulitnya membedakan objek dari latar belakangnya. Oleh karena itu, memperhatikan nilai CNR menjadi sangat krusial untuk menghasilkan citra dengan kualitas diagnostik yang optimal (Utami et al., 2021).

B. Kajian Penelitian yang Relevan

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh parameter eksposi terhadap kualitas citra dan dosis radiasi dalam pemeriksaan radiologi, khususnya pada modalitas mammografi dan computed tomography (CT).

Penelitian yang dilakukan oleh Anggraini dkk. (2023) meneliti bagaimana variasi tegangan tabung (kVp) dan jenis filter dapat memengaruhi kualitas citra dalam pemeriksaan mammografi digital. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kVp dapat meningkatkan penetrasi sinar-X, tetapi dapat menurunkan kontras citra. Selain itu, pemilihan filter yang sesuai dapat membantu meningkatkan kualitas

citra dengan mengoptimalkan kontras dan resolusi, sekaligus mengurangi dosis radiasi yang diterima pasien.

Selain itu, penelitian oleh Juliana dkk. (2016) menekankan pentingnya keseimbangan antara kualitas citra dan dosis radiasi yang diterima pasien. Studi ini menegaskan bahwa uji kesesuaian pada pesawat mammografi sangat penting untuk memastikan sistem pencitraan bekerja sesuai dengan standar diagnostik yang ditetapkan, sehingga dapat menghasilkan citra yang optimal dengan dosis radiasi yang minimal.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Lestari (2017) mengevaluasi kualitas berkas radiasi yang dihasilkan oleh pesawat mammografi dengan mempertimbangkan parameter teknis seperti kVp, mAs, Half Value Layer (HVL), dan dosis radiasi keluaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas berkas radiasi sangat memengaruhi kontras dan resolusi citra serta dosis radiasi yang diterima pasien, sehingga optimasi parameter eksposi menjadi hal yang krusial dalam pemeriksaan mammografi.

Selain penelitian yang berfokus pada mammografi, studi lain yang dilakukan oleh Wibobwo dkk. (2016) menunjukkan bahwa peningkatan kVp

dapat meningkatkan kualitas citra dalam pemeriksaan CT scan, tetapi juga berdampak pada peningkatan dosis radiasi. Sementara itu, penyesuaian mAs dapat membantu mengurangi noise tanpa meningkatkan dosis secara signifikan. Penelitian ini menegaskan pentingnya optimasi parameter eksposi untuk memperoleh citra diagnostik yang baik dengan dosis radiasi yang seminimal mungkin.

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai kVp dan filter memiliki pengaruh terhadap kualitas citra dan dosis radiasi dalam pemeriksaan radiologi, khususnya mammografi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap pengaruh variasi kVp, mAs, dan filter terhadap dosis radiasi dan kualitas citra. Dosis diukur menggunakan multimeter, sedangkan kualitas citra dianalisis melalui perhitungan jumlah struktur (serat, mikrokalsifikasi, massa) dan nilai SNR serta CNR.

Perhitungan jumlah struktur digunakan untuk mengevaluasi kualitas citra secara subjektif berdasarkan penilaian visual yang sesuai dengan standar klinis. Selain itu, metode ini sering digunakan dalam penelitian radiologi karena efektif dalam menilai

detail visual yang signifikan dalam pencitraan medis. Sementara itu, menghitung nilai SNR dan CNR digunakan untuk menganalisis kualitas citra secara kuantitatif, Kombinasi kedua metode ini diharapkan dapat memberikan hasil analisis yang lebih komprehensif, baik secara subjektif maupun objektif, sehingga dapat menggambarkan hubungan antara nilai kVp, jenis filter, kualitas citra, dan dosis radiasi keluaran dengan lebih akurat.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen, yaitu pendekatan kuantitatif yang paling lengkap karena memenuhi syarat untuk menguji hubungan sebab-akibat. Metode ini digunakan untuk mengetahui pengaruh perlakuan tertentu terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkendali (Setia, 2014).

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian dan pengambilan data dilakukan di Rumah Sakit Daerah Gunung Jati Cirebon di Jl. Kesambi No.56, Kesambi, Kec. Kesambi, Kota Cirebon, Jawa Barat 45134. Waktu penelitian Januari-Juni 2025.

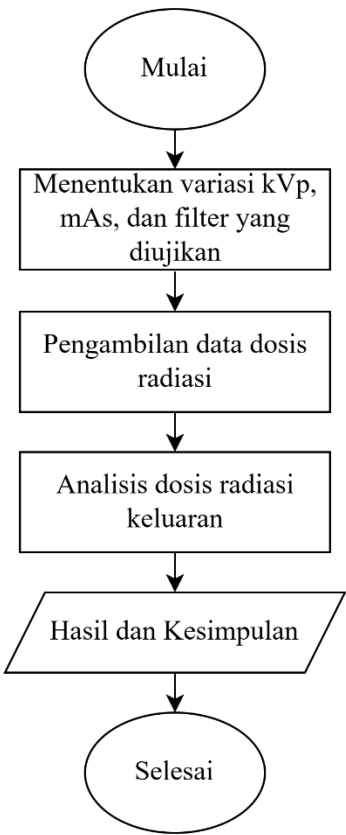
C. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan untuk penelitian ini adalah pesawat mammografi digital merek Metaltronica Helianthus Dbt (IAE) tipe XM1016T. Kemudian, MAM detektor Multimeter Raysafe X2 digunakan untuk mengukur dosis radiasi, fantom

kualitas citra mammografi merek artisnis tipe PASMAM
Constancy German PAS 1054, dan software Image].

D. Prosedur Penelitian

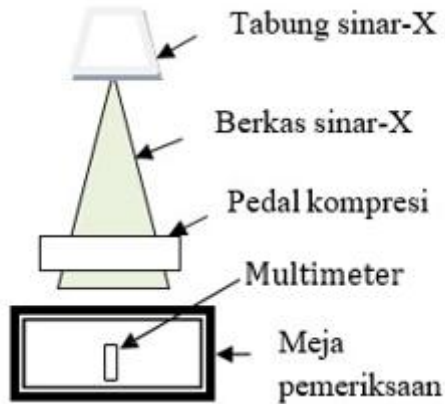
**1. Pengambilan data dosis sinar X pada pesawat
mammografi**



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian dosis
mammografi

Gambar 3.1 diatas menampilkan diagram alir untuk penelitian dosis radiasi. Penelitian ini diawali dengan menentukan variasi kVp dan jenis filter yang akan diuji. Variasi tegangan yang digunakan adalah (20, 22, 24, 26, dan 28) kVp, dengan jenis filter Ag, Rh, dan Al, serta arus tabung (50, 100 dan 150) mAs.

Selanjutnya, dilakukan pengambilan data dosis radiasi menggunakan MAM sensor multimeter merek Raysafe yang diletakkan di bawah detektor, tepat pada posisi penyinaran. Setiap variasi kombinasi kVp, mAs dan filter dieksposi satu per satu, lalu nilai dosis (dalam satuan mGy) dicatat secara langsung dari hasil pembacaan multimeter, kemudian data yang diperoleh disusun dalam bentuk tabel, Gambar 3.2, menunjukkan set pengambilan data dosis radiasi. Multimeter ditempatkan di jalur sinar-X pada posisi yang sesuai, yaitu tepat dibawah sinar detektor, untuk menangkap sinyal radiasi secara langsung.

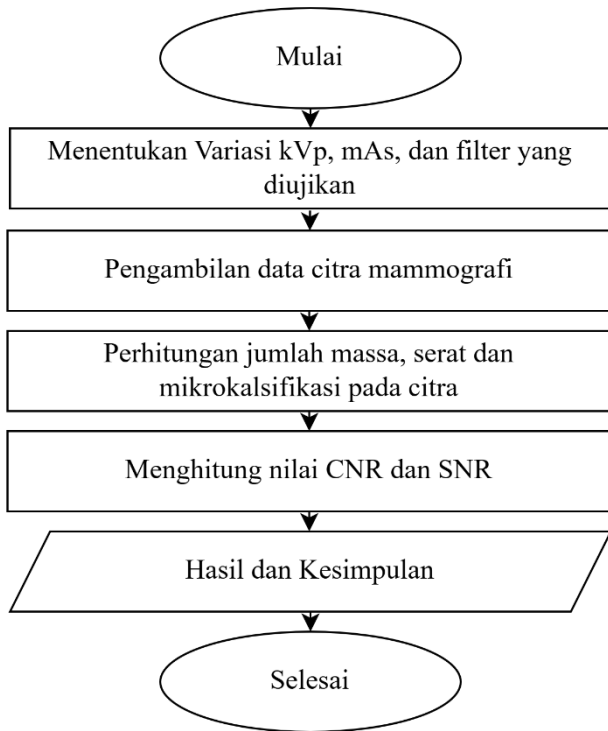


Gambar 3.2. Set pengambilan data dosis radiasi pada mammografi (Fitriani, 2019)

2. Pengambilan data kualitas citra pesawat mammografi

Penelitian ini menggunakan variasi faktor eksposur yang sama dengan pengambilan data dosis. Proses akuisisi citra dilakukan menggunakan phantom kualitas citra merek PASMAM sebagai objek uji, yang dirancang untuk mensimulasikan jaringan payudara manusia dan memuat struktur seperti serat, mikrokalsifikasi, dan massa. Setiap citra yang dihasilkan disimpan dalam format digital dan diberi label sesuai dengan parameter eksposurnya untuk memudahkan analisis. Gambar 3.3 menampilkan

diagram alir untuk penelitian citra radiasi dan Gambar 3.4 menunjukkan set pengambilan data citra mammografi mennggunakan phantom PASMAM.



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian citra mammografi



Gambar 3.4. Set pengambilan data kualitas citra menggunakan fantom pada mammografi (Fitriani, 2019)

E. Teknik Analisis Data

1. Analisis Data Dosis Mammografi

Analisis data dilakukan dengan melihat dosis radiasi yang dihasilkan dari setiap kombinasi tegangan, arus, dan jenis filter. Data dicatat pada sebuah tabel, kemudian dianalisis dalam bentuk grafik untuk mengevaluasi dosis radiasi, dengan tujuan mengetahui pengaruh variasi faktor eksposi terhadap besaran dosis yang diterima.

Hubungan antara kVp dan dosis dianalisis dengan melihat tren perubahan nilai dosis saat tegangan meningkat. Begitu pula dengan variasi mAs, dan filter. Data dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk menunjukkan kecenderungan peningkatan atau penurunan dosis akibat perubahan parameter.

2. Analisis Data Kualitas Citra Mammografi

a. Perhitungan Jumlah Massa, Serat, dan Mikrokalsifikasi

Hasil data dengan variasi yang berbeda dilakukan perhitungan jumlah massa, mikrokalsifikasi dan serat yang tampak pada hasil citra yang dihasilkan bertujuan untuk melihat kualitas berkas dari citra tersebut.

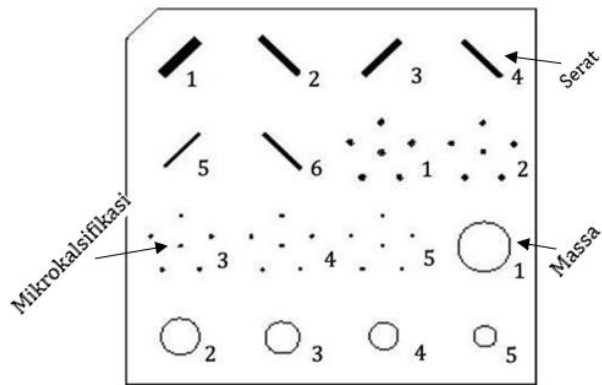
Jumlah nilai massa, mikrokalsifikasi dan serat dicatat dengan ketentuan scoring sebagai berikut (Anggraini, 2022):

- a) Skor penuh (1): untuk obyek yang dapat dilihat secara keseluruhan bentuk, batas dan jumlahnya.
- b) Skor setengah (0,5): untuk obyek yang kotrasnya kurang atau obyek yang hanya

terlihat sebagian, baik bentuk, jumlah dan batasnya.

- c) Skor kosong (0): jika obyek tidak dapat dilihat sama sekali.

Gambar 3.5 merupakan contoh bentuk serat, massa dan mikrokalsifikasi yang terlihat pada hasil citra fantom.



Gambar 3.5. Contoh bentuk serat, massa dan mikrokalsifikasi yang terlihat pada fantom kualitas citra mammografi (Barufaldi et al., 2015)

Sebagai acuan penilaian mutu, penelitian ini mengacu pada peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 2 Tahun 2022, yang menetapkan bahwa citra hasil pemeriksaan mammografidinyatakan memenuhi standar mutu apabila minimal

terdeteksi 4 serat, 3 mikrokalsifikasi, dan 3 massa pada uji fantom kualitas citra (BAPETEN, 2022).

b. Perhitungan nilai SNR dan CNR

Analisis nilai SNR dan CNR dilakukan untuk menilai kualitas citra secara kuantitatif. SNR digunakan untuk menggambarkan seberapa besar intensitas sinyal (rata-rata nilai piksel pada objek) dibandingkan dengan tingkat noise (simpangan baku latar belakang). Sedangkan CNR menggambarkan seberapa kontras perbedaan antara objek dan latar belakang dibandingkan dengan noise. Pengukuran dilakukan pada area yang telah ditentukan menggunakan perangkat lunak ImageJ.

Proses analisis diawali dengan menentukan area ROI pada objek dan latar belakang yang tampak pada citra mammografi. ROI ditentukan pada area objek (misalnya mikrokalsifikasi atau massa) dan latar belakang untuk memperoleh nilai rata-rata intensitas dan standar deviasi (Eric A. Berns, PhD et al., 2020).

ROI adalah area tertentu pada citra yang dipilih untuk dianalisis, baik di area objek maupun latar belakang. Posisi ROI ditentukan berdasarkan koordinat awal (x, y) yang menunjukkan titik awal pemilihan area, sedangkan ukuran ROI ditentukan oleh lebar (w) dan tinggi (h) dalam satuan piksel. Setiap piksel dalam ROI memiliki nilai intensitas yang mencerminkan tingkat kecerahan. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menghitung rata-rata dan standar deviasi sebagai dasar perhitungan parameter kuantitatif seperti SNR dan CNR dalam evaluasi kualitas citra.

Nilai mean dapat dihitung menggunakan rumus (Young et al., 1995):

$$m_a = \frac{1}{\Lambda} \sum_{(m,n) \in \mathcal{R}} a[m,n]$$

Dimana:

m_a = nilai rata-rata intensitas piksel

Λ = jumlah total piksel dalam ROI

$a[m,n]$ = nilai intensitas dari piksel pada koordinat baris ke-m dan kolom ke-n

$\sum_{(m,n) \in \mathcal{R}} a[m,n]$ = jumlah total nilai kecerahan dari semua piksel yang berada di dalam area ROI

Sedangkan nilai standar deviasi dihitung menggunakan rumus:

$$s_a = \sqrt{\frac{1}{\Lambda - 1} \sum_{(m,n) \in \mathcal{R}} (a[m,n] - m_a)^2}$$

Keterangan:

s_a = standar deviasi

Λ = jumlah total piksel dalam ROI

$a[m,n]$ = nilai intensitas dari piksel pada koordinat baris ke-m dan kolom ke-n

m_a = Rata-rata dari intensitas seluruh piksel dalam ROI

Rumus Standar deviasi digunakan untuk mengetahui seberapa besar sebaran nilai intensitas piksel terhadap nilai rata-rata (Young et al., 1995). Setelah mendapatkan nilai mean dan standar deviasi, kemudian dilakukan perhitungan nilai CNR dan SNR menggunakan rumus:

$$SNR = \frac{\text{mean signal objek}}{\text{Standard deviasi background}}$$

$$CNR = \frac{(\text{Mean signal objek} - \text{Mean Background signal})}{\text{Standard Deviasi Background}}$$

Nilai mean signal objek diperoleh dari rata-rata intensitas piksel pada area objek (struktur yang terdeteksi), mean background signal merupakan rata-rata intensitas piksel pada area latar belakang yang homogen, yang tidak mengandung struktur, dan standar deviasi background yaitu seberapa besar penyimpangan nilai piksel dari rata-ratanya, Semakin besar standar deviasi, maka semakin tinggi tingkat noise dalam citra (Bushberg, 2012).

Langkah penghitungan ini dilakukan untuk setiap kombinasi faktor eksposi. Semua hasil pengukuran CNR dan SNR direkap dalam tabel, kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk dapat dievaluasi kombinasi parameter eksposi yang paling optimal dalam menghasilkan citra mammografi berkualitas tinggi.

3. Penentuan Kombinasi Parameter Eksposi Terbaik

Penentuan kombinasi kVp, mAs, dan filter terbaik dilakukan melalui analisis perbandingan

antara kualitas citra dan dosis radiasi yang dihasilkan. Untuk setiap kombinasi yang telah ditentukan, dilakukan pengambilan data dosis yang diukur menggunakan multimeter. Sedangkan, data kualitas citra diperoleh dari hasil pencitraan fantom. Seluruh data hasil pengukuran disusun dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah perbandingan antar kombinasi parameter.

Kombinasi yang optimal dipilih berdasarkan hasil evaluasi menyeluruh dari seluruh kombinasi parameter eksposi (kVp, mAs, dan jenis filter) yang diuji dalam penelitian ini. Proses penilaian diawali dengan mengamati hasil citra berdasarkan dua pendekatan, yaitu secara visual melalui jumlah struktur (serat, mikrokalsifikasi, dan massa) yang berhasil terdeteksi pada citra fantom, serta secara kuantitatif menggunakan perhitungan SNR dan CNR menggunakan perangkat lunak ImageJ. Sebagai acuan visual, digunakan standar mutu dari Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022.

Di sisi lain, nilai dosis radiasi untuk setiap kombinasi diperoleh melalui pengukuran

menggunakan multimeter. Kombinasi yang dianggap optimal adalah yang mampu menghasilkan kualitas citra yang baik, hal ini ditunjukkan oleh tingginya jumlah struktur yang terdeteksi, serta nilai SNR dan CNR yang tinggi, namun tetap dalam batas dosis radiasi yang rendah. Dengan pendekatan ini, diperoleh kombinasi parameter yang seimbang antara efisiensi pencitraan dan dosis.

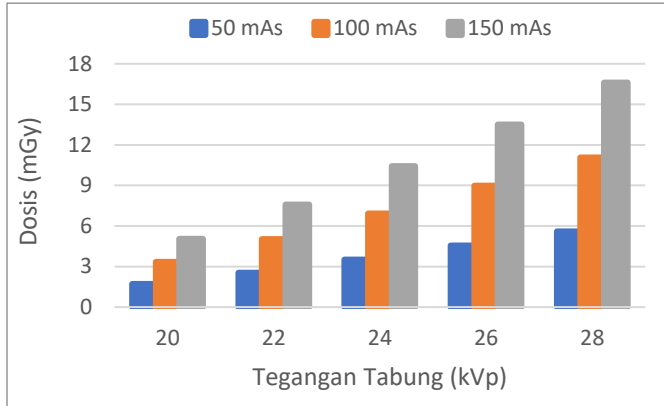
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

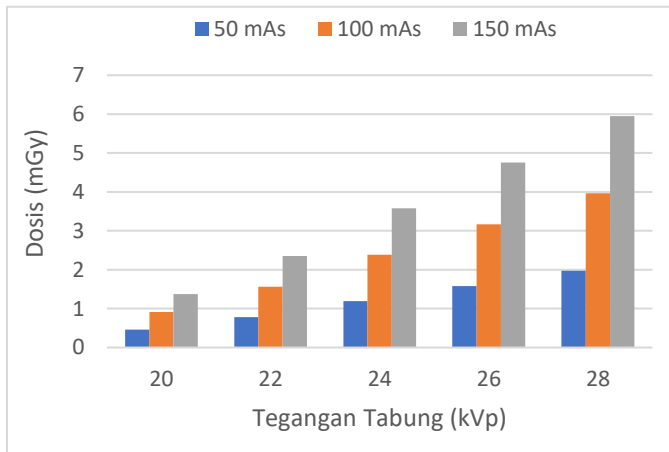
A. Pengukuran Dosis Radiasi

Pengukuran dosis radiasi dilakukan menggunakan multimeter pada pesawat mammografi digital. Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan nilai kVp, mAs, dan jenis filter guna mengetahui bagaimana pengaruh ketiga parameter tersebut terhadap besar dosis radiasi yang dihasilkan. Pengukuran dilakukan pada lima variasi nilai kVp (20, 22, 24, 26, dan 28) kVp, tiga variasi mAs (50, 100, dan 150) mAs, dan tiga jenis filter (Al, Rh, dan Ag). Multimeter diletakkan pada posisi permukaan detektor untuk mencatat besarnya dosis radiasi yang dipancarkan. Proses ekspos dilakukan berulang untuk setiap kombinasi nilai kVp, mAs, dan jenis filter.

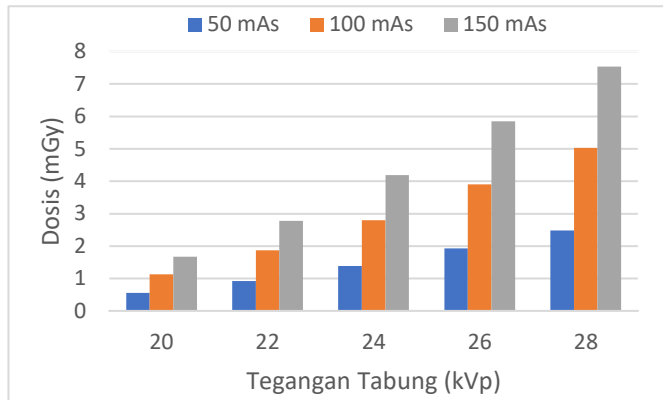
Data hasil pengukuran dosis tersebut disajikan dalam bentuk grafik untuk setiap jenis filter. Grafik menunjukkan hubungan antara nilai kVp dan mAs terhadap dosis radiasi pada masing-masing filter. Gambar 4.1 hingga 4.3 menunjukkan tren peningkatan dosis seiring kenaikan nilai tegangan (kVp) dan Arus (mAs) pada masing-masing filter.



Gambar 4. 1. Histogram Data Dosis dengan Filter W/Al



Gambar 4. 2. Histogram Data Dosis dengan Filter W/Rh



Gambar 4. 3. Histogram Data Dosis dengan Filter W/Ag

Berdasarkan Gambar 4.1 sampai 4.3, terlihat bahwa variasi tegangan tabung (kVp) dan arus tabung (mAs) memberikan hasil pengukuran dosis radiasi yang berbeda-beda. Semakin tinggi kVp dan mAs, maka semakin tinggi pula dosis radiasi yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan energi dan jumlah foton sinar-X yang mencapai detector atau fantom (Susanti et al., 2014).

Gambar 4.1 sampai 4.3 juga memperlihatkan bahwa filter yang digunakan mempengaruhi besar kecilnya dosis radiasi. Filter W/Rh menghasilkan dosis paling rendah, sedangkan filter W/Al menghasilkan dosis paling tinggi. Ini menunjukkan bahwa pemilihan filter yang tepat sangat penting dalam mengoptimalkan keseimbangan antara kualitas citra dan proteksi dosis

radiasi. Hal ini disebabkan karena Filtrasi berfungsi untuk menghilangkan sinar-X berenergi rendah yang kurang bermanfaat dalam pencitraan medis, namun dapat meningkatkan dosis radiasi yang diterima oleh pasien (Bushberg, 2012).

Hasil ini sejalan dengan studi oleh Suliman et al. (2023) dan Fadhilah et al. (2023) yang menemukan bahwa kombinasi faktor eksposi dan jenis filter memengaruhi nilai Average Glandular Dose (AGD) atau Nilai Mean Glandular Dose (MGD) pada mammografi digital. Namun, perbedaan terletak pada jenis filter yang digunakan, penelitian tersebut menggunakan filter Mo/Mo dan Mo/Rh, sementara penelitian ini menggunakan kombinasi W/Al, W/Ag, dan W/Rh. Selain itu studi oleh Teoh et al. (2021) membandingkan dosis antara Full-Field Digital Mammography (FFDM) dan Digital Breast Tomosynthesis (DBT), menemukan bahwa DBT memiliki dosis lebih tinggi dibandingkan FFDM. Perbedaan ini menunjukkan bahwa jenis teknologi dan parameter eksposi yang digunakan dapat memengaruhi dosis radiasi yang diterima. pemilihan kombinasi target dan filter yang tepat sangat penting dalam mammografi untuk menyesuaikan spektrum

sinar-X, meningkatkan efisiensi pencitraan, serta menjaga keseimbangan antara kualitas gambar dan dosis radiasi yang diterima pasien (Dance et al., 2014). Dalam penelitian ini, filter W/Al menghasilkan dosis radiasi tertinggi dibandingkan W/Ag dan W/Rh. Hal ini sejalan dengan teori Bushberg et al. (2012), yang menyatakan bahwa semakin tinggi nomor atom bahan filter, semakin besar kemampuannya menyerap sinar-X berenergi rendah, sehingga energi sinar yang diteruskan lebih tinggi dan dapat meningkatkan dosis radiasi.

B. Pengukuran Citra Mammografi

Metode pengolahan citra dari hasil eksposur dengan variasi tegangan tabung (20, 22, 24, 26, 28) (kVp), arus tabung 50, 100, dan 150 mAs, dan jenis filter Al, Rh, dan Ag, menggunakan pesawat mammografi digital. Penilaian kualitas citra dilakukan melalui dua pendekatan. yaitu, analisis visual terhadap jumlah struktur serat, mikrokalsifikasi, dan massa yang terdeteksi pada citra fantom berdasarkan sistem penilaian skor, serta perhitungan nilai kuantitatif SNR dan CNR untuk menilai rasio antara sinyal dan noise serta kontras terhadap latar belakang. Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran menyeluruh

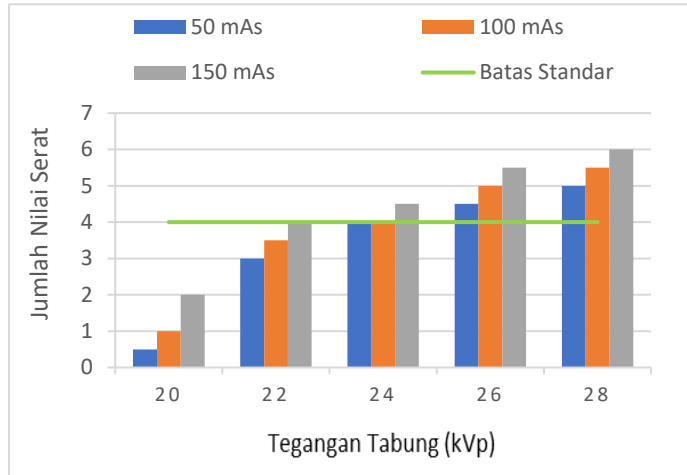
mengenai performa pencitraan berdasarkan variasi faktor eksposi dan jenis filter yang digunakan.

1. Perhitungan Jumlah Nilai Serat, Mikrokalsifikasi, dan massa

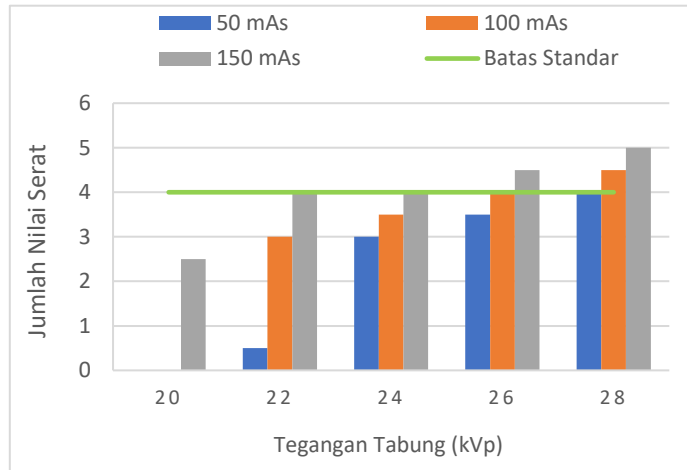
Penelitian ini merupakan penilaian kualitas citra secara visual yang dilakukan dengan cara mengevaluasi jumlah struktur yang dapat dideteksi pada citra mammografi. Penilaian ini dilakukan dengan cara menghitung jumlah struktur berupa serat, mikrokalsifikasi, dan massa yang terlihat pada citra. Pengambilan data dilakukan dengan mengkombinasi nilai kVp, mAs, dan jenis filter, lalu setiap citra yang dihasilkan dianalisis secara visual. Seluruh skor hasil pengamatan dicatat untuk setiap kombinasi eksposi guna mengetahui pengaruh parameter teknis terhadap kemampuan deteksi struktur pada citra mammografi.

a. Jumlah Nilai Serat

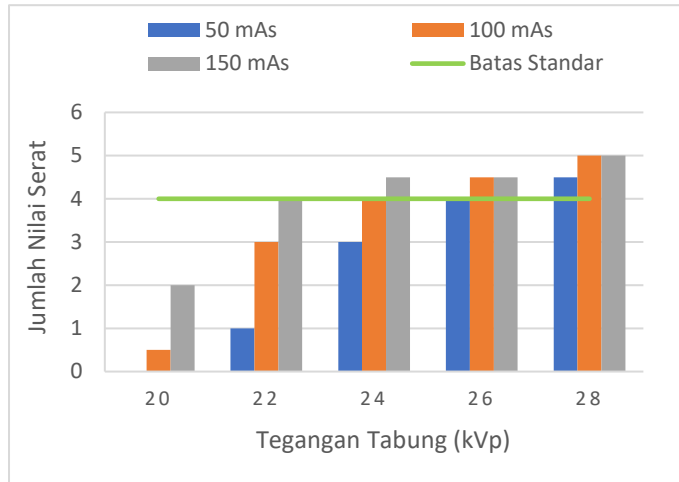
Jumlah serat yang terdeteksi pada citra untuk setiap jenis filter disajikan pada Gambar 4.4 hingga 4.6.



Gambar 4. 4. Histogram Jumlah Serat Variasi Filter W/Al



Gambar 4. 5. Histogram Jumlah Serat Variasi Filter W/Rh

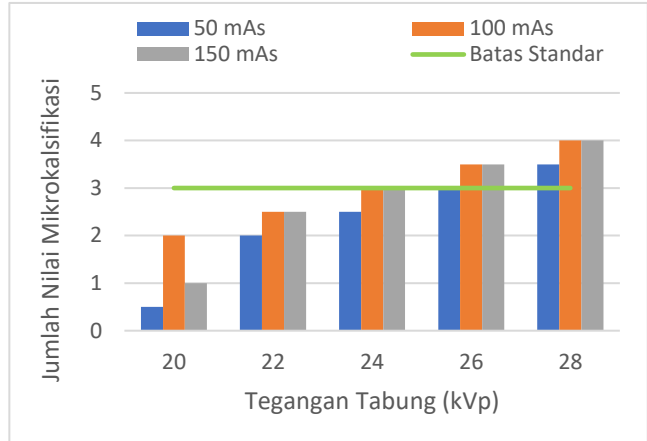


Gambar 4. 6. Histogram Jumlah Serat Variasi Filter W/Ag

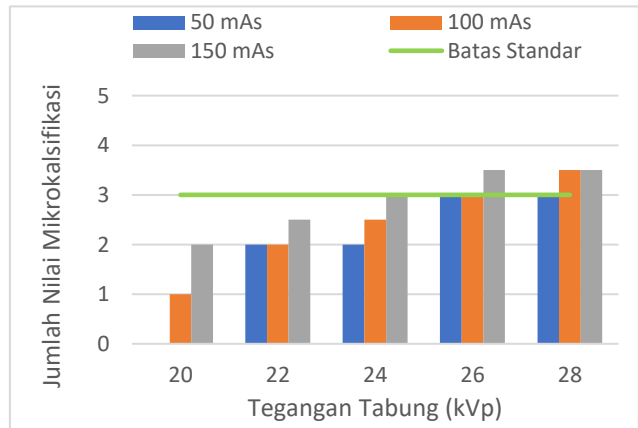
Gambar 4.4 hingga 4.6 menunjukkan bahwa peningkatan kVp dan mAs meningkatkan jumlah serat yang terdeteksi pada citra mammografi. Seluruh kombinasi kVp mulai dari 24 kVp dan mAs 100 mAs umumnya telah melampaui ambang batas minimal standar deteksi serat (4 poin), menandakan kualitas citra yang baik. Pada filter W/Al, peningkatan nilai kVp dan mAs menghasilkan deteksi serat paling tinggi, diikuti dengan W/Ag, sedangkan filter W/Rh menunjukkan hasil paling rendah.

b. Jumlah Nilai Mikrokalsifikasi

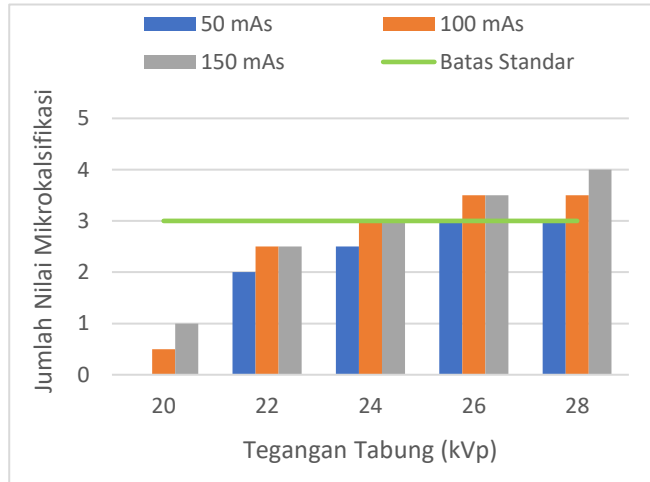
Jumlah mikrokalsifikasi yang terdeteksi pada citra untuk setiap jenis filter disajikan pada Gambar 4.7 hingga 4.9.



Gambar 4. 7. Histogram Jumlah Mikrokalsifikasi Filter W/Al



Gambar 4. 8. Histogram Jumlah Mikrokalsifikasi Filter W/Rh

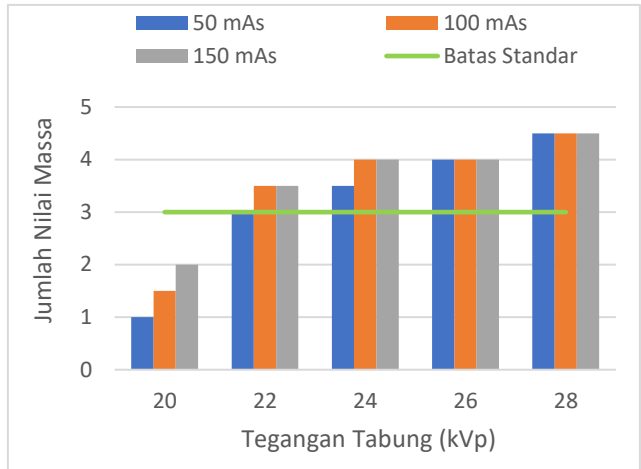


Gambar 4. 9. Histogram Jumlah Mikrokalsifikasi Filter W/Ag

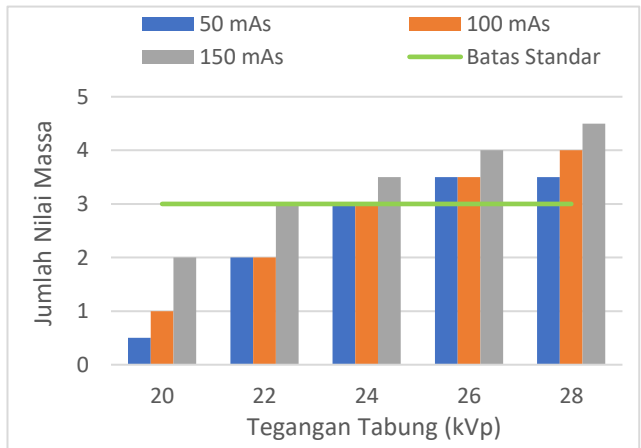
Gambar 4.7 hingga 4.9 dapat terlihat bahwa kualitas citra dalam hal deteksi mikrokalsifikasi meningkat seiring dengan naiknya nilai kVp dan mAs. Seluruh filter dan mAs pada kVp 24 ke atas telah melampaui ambang batas minimal deteksi mikrokalsifikasi, dan filter W/Al mampu deteksi mikrokalsifikasi lebih tinggi, disusul oleh filter W/Ag dan W/Rh.

c. Jumlah Massa

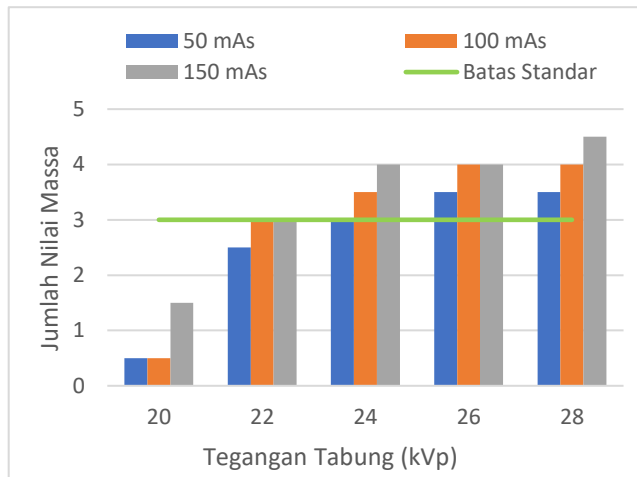
Jumlah massa yang terdeteksi pada citra untuk setiap jenis filter disajikan pada Gambar 4.10 hingga 4.12.



Gambar 4. 10. Histogram Jumlah Massa Variasi Filter W/Al



Gambar 4. 11. Histogram Jumlah Massa Variasi Filter W/Rh



Gambar 4. 12. Histogram Jumlah Massa Variasi Filter W/Ag

Gambar 4.10 hingga 4.12, terlihat bahwa kualitas citra dalam hal deteksi massa meningkat seiring dengan naiknya nilai kVp dan mAs. Semua filter dan mAs menunjukkan hasil yang baik mulai dari 24 kVp, filter W/Al menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan W/Ag dan W/Rh.

Jadi, secara keseluruhan, kualitas radiografi yang baik sangat bergantung pada faktor-faktor seperti densitas, kontras, dan ketajaman citra. Oleh karena itu, penting untuk melakukan upaya-upaya dalam menekan segala hal yang dapat menurunkan kualitas

tersebut, termasuk mengatur faktor eksposi secara optimal (Asriningrum et al., 2021). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai kVp dan mAs mampu meningkatkan deteksi terhadap struktur serat, mikrokalsifikasi, dan massa secara bertahap. Semakin tinggi faktor eksposi, semakin banyak struktur yang dapat dikenali dengan jelas pada gambar, yang mencerminkan peningkatan visibilitas dan ketajaman citra.

Selain itu, pemilihan kombinasi target dan filter yang tepat terbukti berperan penting dalam proses pencitraan. Spektrum sinar-X yang dihasilkan harus disesuaikan dengan karakteristik jaringan dan struktur yang akan diamati, agar efisiensi pencitraan meningkat dan keseimbangan antara kualitas gambar serta dosis radiasi tetap terjaga (Dance et al., 2014). Filter W/Al menunjukkan kemampuan tertinggi dalam mendeteksi struktur seperti serat, mikrokalsifikasi, dan massa, disusul oleh filter W/Ag, sementara filter W/Rh memberikan hasil paling rendah. Efektivitas ini berasal dari kemampuan filter Al menghasilkan

spektrum sinar-X yang lebih optimal dalam meningkatkan kontras citra, karena Aluminium sebagai material filter menyaring foton energi rendah yang hanya menambah noise (Alkhalifah et al., 2020). Selain itu, Berdasarkan Bushberg et al. (2012), bahan dengan nomor atom tinggi seperti aluminium mampu menyaring sinar-X energi rendah yang hanya menambah noise, sehingga sinar yang diteruskan lebih sesuai untuk menghasilkan citra dengan kontras dan ketajaman optimal.

Hasil dari penelitian ini sejalan dengan temuan Celina et al. (2023) yang mengevaluasi kualitas citra menggunakan phantom mammografibuatan sendiri dengan berbagai filamen printer 3D. Penelitian tersebut menemukan bahwa kombinasi parameter eksposi yang tepat memungkinkan deteksi hingga enam serat, empat spek mikrokalsifikasi, dan lima massa, menunjukkan bahwa pemilihan parameter yang optimal dapat meningkatkan deteksi struktur kecil dalam mammografi. Perbedaan dengan penelitian ini terletak pada variasinya, pada

penelitian tersebut hanya memvariasi kVp dan mAs, sedangkan penelitian ini memvariasi kVp, mAs, juga jenis filter.

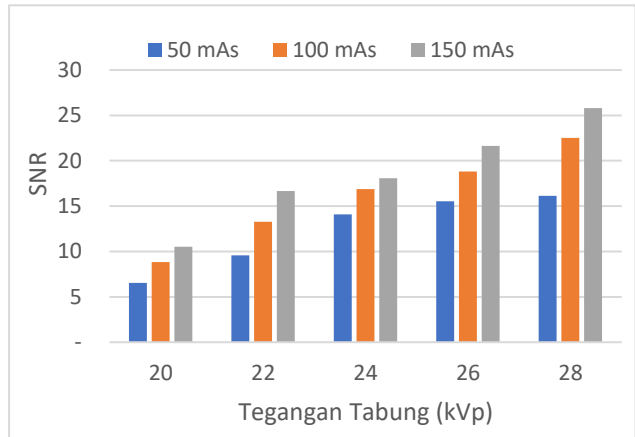
2. Hasil Analisis Nilai CNR dan SNR

Penelitian ini menganalisis kualitas citra mammografi digital berdasarkan nilai SNR dan CNR. Akuisisi citra dikumpulkan melalui penyinaran terhadap fantom kualitas citra. Perhitungan nilai SNR dan CNR dilakukan menggunakan software ImageJ dengan pengambilan Region of Interest (ROI) pada area objek dan latar belakang, berdasarkan intensitas rata-rata dan standar deviasi. Nilai-nilai tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh parameter eksposi terhadap kualitas citra.

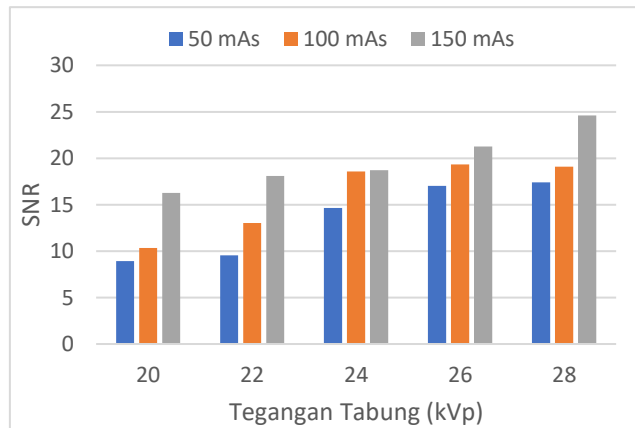
Analisis kuantitatif terhadap nilai SNR dan CNR dilakukan pada masing-masing kombinasi kVp, mAs, dan jenis filter sebagai bentuk evaluasi terhadap kualitas citra yang dihasilkan.

a. SNR

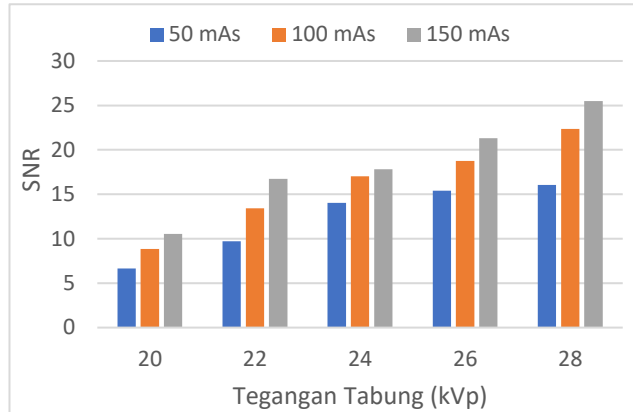
Hasil pengolahan data SNR disajikan pada Gambar 4.13 sampai 4.15.



Gambar 4. 13. Histogram Nilai SNR Filter
W/AI



Gambar 4. 14. Histogram Nilai SNR Filter
W/Rh



Gambar 4. 15. Histogram Nilai SNR Filter W/Ag

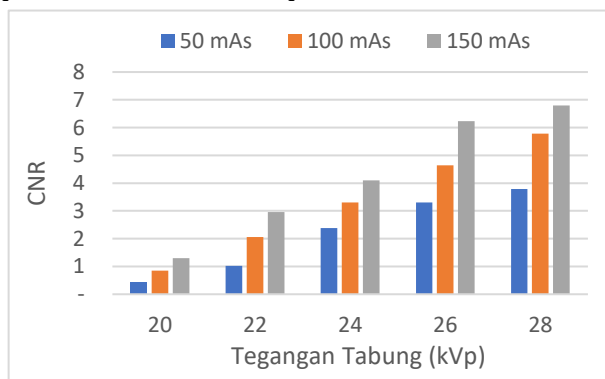
Terlihat pada Gambar 4.13 hingga 4.15, bahwa peningkatan kVp dan arus tabung mAs cenderung meningkatkan nilai SNR. Peningkatan SNR ini menunjukkan kualitas citra yang semakin baik, karena rasio antara sinyal dan noise meningkat. Pada nilai kVp dan mAs yang sama, filter W/Al menghasilkan nilai SNR lebih tinggi dibandingkan dengan filter W/Ag, dan W/Rh menghasilkan nilai SNR paling rendah.

Dalam pencitraan mammografi, nilai SNR menjadi indikator penting dalam menilai sejauh mana sinyal yang dihasilkan oleh objek anatomi dapat dibedakan dari gangguan

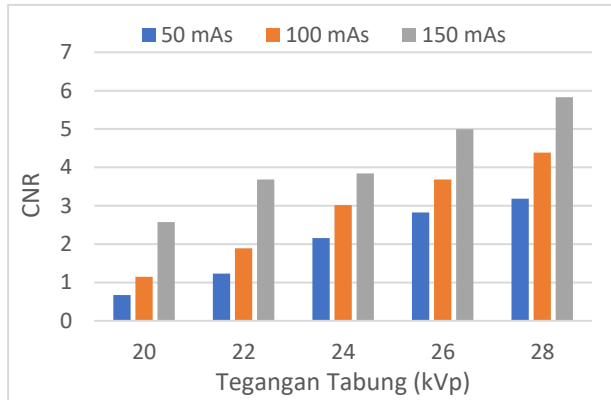
(noise) pada citra. SNR yang tinggi menandakan bahwa sinyal yang diterima dari organ lebih dominan dibandingkan gangguannya, sehingga detail struktur jaringan dapat divisualisasikan dengan lebih baik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan faktor eksposi, seperti kVp dan mAs, berkontribusi terhadap peningkatan nilai SNR. Semakin besar intensitas sinyal yang diterima, terutama dari struktur dengan densitas tinggi, maka semakin besar pula nilai SNR yang diperoleh (Ariadi et al., 2023)

b. CNR

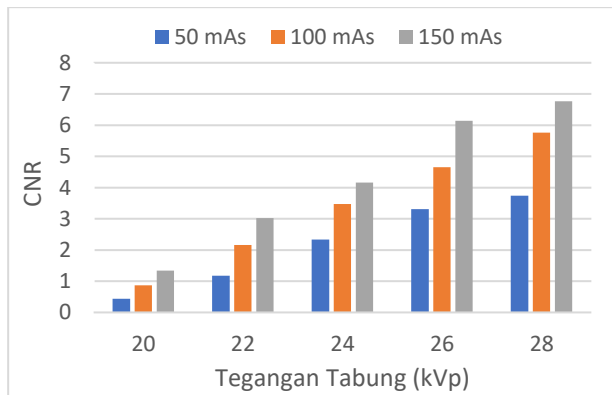
Hasil pengolahan data CNR disajikan pada Gambar 4.16 sampai 4.18.



Gambar 4.16. Histogram Nilai CNR Filter W/AI



Gambar 4.17. Histogram Nilai CNR Filter W/Rh



Gambar 4. 18. Histogram Nilai CNR Filter W/Ag

Berdasarkan Gambar 4.16 sampai 4.18, terlihat bahwa variasi tegangan tabung (kVp) dan arus tabung (mAs) memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai CNR. Semakin tinggi kVp dan mAs, maka semakin tinggi pula

nilai CNR yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan peningkatan rasio kontras terhadap noise, sehingga citra yang dihasilkan memiliki perbedaan intensitas yang lebih jelas antara objek dan latar belakang (Celina et al., 2023).

Gambar 4.16 sampai 4.18 juga memperlihatkan bahwa filter yang digunakan mempengaruhi besar kecilnya nilai CNR. Filter W/AI menghasilkan nilai CNR yang lebih tinggi dibandingkan filter W/Ag dan W/Rh. Ini menunjukkan bahwa pemilihan filter sangat berpengaruh dalam menghasilkan kualitas citra yang baik tanpa mengabaikan efisiensi dosis.

CNR menjadi parameter penting yang merepresentasikan kemampuan citra untuk menampilkan kontras antara objek dan latar belakangnya. CNR yang tinggi menunjukkan bahwa objek target, seperti massa atau mikrokalsifikasi, dapat dibedakan secara jelas dari jaringan sekitarnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan faktor eksposi dapat meningkatkan nilai CNR, karena perbedaan intensitas antara objek dan

background menjadi lebih nyata. Sebaliknya, nilai CNR yang rendah akan menyulitkan proses identifikasi, karena objek tampak menyatu dengan latar belakangnya. Oleh karena itu, pemantauan nilai CNR menjadi krusial untuk menjamin bahwa citra yang dihasilkan memiliki kualitas diagnostik yang optimal (Utami et al., 2021)

Penelitian oleh Nadya Anggraini (2022) juga meneliti pengaruh kVp dan material filter terhadap kualitas citra dari fantom ACR pada digital mammografi. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kombinasi kVp dan filter yang tepat dapat meningkatkan nilai SNR dan CNR, khususnya dalam mendeteksi struktur serat. Temuan ini mendukung hasil penelitian ini bahwa pemilihan parameter eksposi yang optimal sangat penting dalam meningkatkan kualitas citra mammografi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Dosis radiasi meningkat seiring kenaikan kVp dan mAs. Filter W/Al menghasilkan dosis tertinggi, disusul W/Ag, dan dosis terendah pada W/Rh.
2. Kualitas citra juga meningkat seiring kenaikan kVp dan mAs, yang ditunjukkan oleh bertambahnya jumlah struktur yang terdeteksi serta peningkatan nilai SNR dan CNR. Filter W/Al menunjukkan deteksi citra terbaik, diikuti oleh W/Ag dan W/Rh.
3. Meskipun filter W/Al serta peningkatan kVp dan mAs dapat meningkatkan kualitas citra, namun hal ini juga berdampak pada kenaikan dosis radiasi yang cukup tinggi. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara kualitas citra dan dosis radiasi. Berdasarkan penelitian kombinasi 26 kVp, 100 mAs, dan filter W/Ag memiliki hasil paling optimal dengan dosis 3,165 mGy, deteksi struktur citra tinggi (5 serat, 3,5 mikrokalsifikasi, 4 massa), serta nilai SNR 18,758 dan CNR 4,655.

B. Saran

Berikut adalah beberapa saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian.

1. Pemilihan nilai kVp, mAs, dan jenis filter harus disesuaikan dengan karakteristik jaringan yang akan diamati, seperti ketebalan serta komposisi jaringan.
2. ROI pada citra sebaiknya ditentukan secara konsisten dan presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M. (2000). Dasar-dasar proteksi radiasi.
- Alkhalifah, K., Asbeutah, A., & Brindhavan, A. (2020). Image quality and radiation dose for fibrofatty breast using target/filter combinations in two digital mammography systems. *Journal of Clinical Imaging Science*, 10(1), 1–7. https://doi.org/10.25259/JCIS_30_2020
- Anggraini, N. (2022). Pengaruh kvp dan material filter terhadap kualitas citra dari fantom acr pada digital mammografi.
- Anggraini, N., Haryanto, F., & Budi, M. (2023). Analisis pengaruh nilai kVp dan filter terhadap kualitas citra dari fantom ACR pada digital mamografi. 10(1), 1–9.
- Ariadi, I., Juliantara, I. P. E., & Supriyani, N. (2023). Nautical : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Pengaruh variasi NAQ terhadap Signal To Noise Ratio (SNR) pada MRI Lumbal Sekuen Sagittal T2-FSE (Speeder) dengan Kasus Low Back Pain (LBP). *Jurnal Ilmiah Multidisiplin : 2829-632X*, 1(10), 1203–1211.
- Aryawijayanti, R; Susilo, Susilo; Sutikno, S. (2015). Analisis Dampak Radiasi Sinar-X Pada Mencit Melalui Pemetaan Dosis Radiasi Di Laboratorium Fisika Medik. *Jurnal MIPA*, 38(1), 25–30.
- Asni, N., & Utami, M. S. N. (2023). Quality Control Ct Scan (Analisis Dan Evaluasi Kualitas Citra). *Prosiding Seminar Si-INTAN*, 3(1), 82–86. <https://doi.org/10.53862/ssi.v3.092023.014>
- 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>
- Astria, R. (2024). Analisis Kualitas Citra Radiografi Cr Dengan Signal To Noise Ratio (Snr) Dan Contrasts To Noise Ratio (Cnr) Menggunakan Microdicom. In *Interdisciplinary Journal of MedTech and EcoEngineering (IJME) DOI* (Vol. 1, Issue 1).
- Aulia, N., Sukmana, B. I., & Diana, S. (2021). Pengaruh paparan radiasi terhadap pH saliva. *Dentin*, 5(3), 134–138. <https://doi.org/10.20527/dentin.v5i3.4349>
- BAPETEN. (2022). Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Atas Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiologi, Diagnostik dan Intervensional. Nomor 2 Tentang Perubahan Atas Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiologi, Diagnostik Dan Intervensional.
- Barufaldi, B., Lau, K. C., Schiabel, H., & Maidment, D. A. (2015). Computational assessment of mammography accreditation phantom images and correlation with human observer analysis. *Medical Imaging 2015: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment*, 9416(June 2016), 941606. <https://doi.org/10.1117/12.2082074>
- Bushberg, J. T. (2012). The Essential Physics of Medical Imaging. In *Radiology* (Vol. 191, Issue 3). <https://doi.org/10.1148/radiology.191.3.786>
- Cahyani, B., Utari, U., & Muhtarom, M. (2021). Penentuan Peak Kilovoltage (kVp) Pesawat Sinar-X Dengan Pemanfaatan Imaging Plate (IP) Di RSUD Dr. Moewardi. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 11(2), 126.

<https://doi.org/10.13057/ijap.v11i2.45431>

- Celina, F. M., Gani, M. R. A., & Endarko, E. (2023). Evaluation of in-house phantoms for mammography accreditation with various 3D printer filaments. *Journal of Physics: Conference Series*, 2498(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2498/1/012014>
- Dance, D. R., S.Christofides, Maidment, A. D. A., McLean, I. D., & Ng, K. H. (2014). Diagnostic Radiology Physics. In International Atomic Energy Agency (IAEA). <https://doi.org/10.1201/9781482266641-12>
- Dartini, Wulandari, F. Y., & Sulistiyadi, A. H. (2016). Radiographic image quality in various image reading time delay in computed radiography. 2(1), 134–136.
- Donini, B., Rivetti, S., Lanconelli, N., & Bertolini, M. (2014). Free software for performing physical analysis of systems for digital radiography and mammography. *Medical Physics*, 41(5). <https://doi.org/10.1118/1.4870955>
- Effendi, R. S. P. R. (2024). Pengukuran intensitas radiasi yang dipancarkan oleh handphone dan pengaruhnya terhadap kesehatan. institut teknologi bandung.
- Eric A. Berns, PhD, F., Douglas E. Pfeiffer, MS, F., & Priscilla F. Butler, MS, F. (2020). Digital Mammography Quality Control Manual Revised 2nd Edition. American College of Radiology.
- Fadhilah, Z. P., Adrial, R., & Rahmah, F. (2023). Perbandingan Nilai Mean Glandular Dose (MGD) dari Penggunaan Filter Molybdenum (Mo) dan Rhodium (Rh) Pada Pesawat Mamografi. *Jurnal Fisika Unand*, 12(3), 363–367. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.3.362-366.2023>
- Global Cancer Observator. (2022). Internasional Agency for Research on Cancer. <https://gco.iarc.who.int/today/en>

- Hartina, Iswadi, & L, M. S. (2014). Pengukuran Intensitas Radiasi Yang Dipancarkan Oleh Handphone Dan Pengaruhnya Terhadap Kesehatan.
- Irsal, M. (2021). Evaluasi Exposure Index terhadap Faktor Eksposi dengan Metode 15% kVp Rule Of Thumb Pada Pemeriksaan Radiografi Kepala Proyeksi AP. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kesehatan*, 12(2). <https://doi.org/10.33666/jitk.v12i2.414>
- Juliana, I., Abdullah, B., Tahir, D., Fisika, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2016). Uji Kesesuaian Kualitas Citra Dan Informasi Dosis Pasien Pada Pesawat Mammografi. 457.
- Lestari, D. K. (2017). Studi Penentuan Kualitas Berkas Radiasi Pesawat Sinar-X Mammografi di RSUD Kota Makassar. 1–57.
- Marwah, S. A., Saharani, N., Astuty, S. D., & Dewang, S. (2024). Desain Fantom Berbasis Gelatin Dan Zn Untuk menentukan nilai SNR dan CNR hasil pemeriksaan CT Scan. 27(2).
- Metaltronca. (2018). <https://metaltronica.com/en/helianthus-dbt/>.
- Miftahul Jannah Al Zubaidy, S., Irma Wulandari, P., Atmanta, S., & Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali, A. (2022). Evaluasi Dosis Radiasi Pada Pemeriksaan Diagnostic Coronary Angiography (Dca) Di Rsud Provinsi Nusa Tenggara Barat Tahun 2021. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6, 1768–1775.
- Nazaroh, F. (2010). Komparasi pengukuran laju kerma udara pesawat ob-85 menggunakan alat ukur radiasi standar sekunder dan standar turunannya. *Jurnal Pustek Akselerator Dan Proses Bahan - BATAN*, 2(May), 28–36.
- Ningtias, D. R., Suryono, S., & Susilo, S. (2016). Pengukuran

- Kualitas Citra Digital Computed Radiography Menggunakan Program Pengolah Citra. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 12(2), 161–168. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v12i2.5950>
- Novar Setiawan, K., & Suwija Putra, I. M. (2018). Klasifikasi Citra Mammogram Menggunakan Metode K-Means, GLCM, dan Support Vector Machine (SVM). *Jurnal Ilmiah Merpati (Menara Penelitian Akademika Teknologi Informasi)*, 6(1), 13. <https://doi.org/10.24843/jim.2018.v06.i01.p02>
- Nur, I. M. (2019). Mammography Screening pada Kanker Payudara dengan Generalized Structured Component Analysis. *Statistika*, 2(1), 26–33.
- Nuridzati, A., 1, Susanto, E., 2, Rasyid, 3, Daryati, S., 4, Kurniawati, A., & 5. (2020). Standarisasi Indeks Eksposur Untuk Memenuhi Kriteria Anatomi Dan Aspek Teknis Pada Radiografi Thorax Pediatrik. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 6, 103. <http://ejournal.poltekkes-smg.ac.id/ojs/index.php/jimed/index>
- Rahmah Sari, F., Dewi Astuty, S., & Dewang, S. (2022). Analisis Keluaran Radiasi Dan Mean Glandular Dose Berdasarkan Kombinasi Target/Filter Pesawat Mammografi Di Rsud Syekh Yusuf Gowa. 25(3), 80–88.
- Rani, R. (2020). Uji akurasi alat ukur radiasi pada kasus kebocoran tabung pesawat mobile x-ray di bpfk makassar (Vol. 2507, Issue February).
- Rauf, R. A., Dewi Astuty, S., Dewang, S., Mulyadin, D., Kalibrasi, D., Pengamanan Fasilitas Kesehatan, B., & Selatan, S. (2020). Pengaruh Faktor Eksposi Dan Tebal Fantom Terhadap Mean Glandular Dose (Mgd) Pada Pesawat Sinar-X Mammografi. 23(3), 83–90.
- Safitri, R., & Yufita, E. (2017). Quality Control X Rays

- Mammography in the Effort Mitigation Increasing Number of Cancer Patients. *Jurnal Natural*, 17(1), 45–48. <https://doi.org/10.24815/jn.v17i1.6970>
- Setia, R. A. (2014). Penerapan Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Numbered Heads Together (NHT) Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik Pada Mata Pelajaran Kearsipan. *Perpustakaan.Upi.Edu*, 46–70.
- Soekersi, H., Azhar, Y., & Akbari, K. S. (2022). Peran Mammografi Untuk Skrining Kanker Payudara: Sebuah Tinjauan Pustaka. *Journal Of The Indonesian Medical Association*, 72(3), 144–150. <https://doi.org/10.47830/jinma-vol.72.3-2022-627>
- Sparginanda, E., Nehru, N., & Nurhidayah, N. (2017). Pengaruh Faktor Eksposi Terhadap Kualitas Citra Radiografi. *Journal Online of Physics*, 3(1), 14–22. <https://doi.org/10.22437/jop.v3i1.4428>
- Suliman, I. I., Mohamed, S., Mahadi, A., Bashier, E., Farah, A., Hassan, N., Ibrahim, M. A., Mohammed Ali, M. K., & Ahmed, N. A. (2023). Average Glandular Dose (AGD) and Radiation Dose Optimization in Screen-Film and Digital X-ray Mammography. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/app132111901>
- Susanti, F., Anam, C., & Setiawati, E. (2014). Penentuan Entrance Skin Exposure (Ese) Pada Pesawat Mammografi Mammomat 1000 Dengan Filter Molybdenum (Mo) Dan Rhodium (Rh). *Jurnal Sains Dan Matematika*, 22(1), 20–24.
- Teoh, K. C., Manan, H. A., Norsuddin, N. M., & Hussain, R. I. (2021). Comparison of mean glandular dose between full-field digital mammography and digital breast tomosynthesis. *Healthcare (Switzerland)*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/healthcare9121758>

- Timmermans, L., De Hauwere, A., Bacher, K., Bosmans, H., Lemmens, K., Bleyen, L., Van Limbergen, E., Martens, P., Van Steen, A., Mortier, G., Van Herck, K., & Thierens, H. (2014). Impact of the digitalisation of mammography on performance parameters and breast dose in the Flemish Breast Cancer Screening Programme. *European Radiology*, 24(8), 1808–1819. <https://doi.org/10.1007/s00330-014-3169-y>
- Utami, N. W. M. S., Ni Nyoman, R., & I Putu Eka, J. (2021). Pengaruh Kombinasi Arus Tabung Sinar-X dan Waktu Eksposi Terhadap Contrast to Noise Ratio (CNR) dengan menggunakan Computed Radiography. *Buletin Fisika*, 23(1), 26. <https://doi.org/10.24843/bf.2022.v23.i01.p04>
- Wibowo, A. S., Wibowo, G. M., & Prabowo, A. (2016). Analisis Perubahan kV dan mAs terhadap Kualitas Gambar dan Dosis Radiasi pada Pemeriksaan Multislice Computed Tomography Abdomen dalam Kasus Tumor Abdomen di Instalasi Radiologi RSUD dr. Saiful Anwar Malang. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, 2(1), 129–133. <https://doi.org/10.31983/jimed.v2i1.3170>
- Young, I. T., Gerbrands, J. J., & Vliet, L. J. van. (1995). *Fundamentals of Image Processing. Optical and Digital Image Processing: Fundamentals and Applications*, 17. <https://doi.org/10.1002/9783527635245.ch4>

Lampiran 1

Tabel data dosis

kVp set	mAs	Anoda/Fiter	Dosis (mGy)
20	50	W/Al	1,702
22	50	W/Al	2,544
24	50	W/Al	3,504
26	50	W/Al	4,546
28	50	W/Al	5,602
20	100	W/Al	3,359
22	100	W/Al	5,033
24	100	W/Al	6,931
26	100	W/Al	8,990
28	100	W/Al	11,060
20	150	W/Al	5,048
22	150	W/Al	7,576
24	150	W/Al	10,440
26	150	W/Al	13,510
28	150	W/Al	16,610

kVp set	mAs	Anoda/Fiter	Dosis (mGy)
20	50	W/Rh	0,460
22	50	W/Rh	0,781
24	50	W/Rh	1,192
26	50	W/Rh	1,578
28	50	W/Rh	1,976
20	100	W/Rh	0,914
22	100	W/Rh	1,559
24	100	W/Rh	2,382
26	100	W/Rh	3,165
28	100	W/Rh	3,966
20	150	W/Rh	1,372
22	150	W/Rh	2,350
24	150	W/Rh	3,578
26	150	W/Rh	4,756
28	150	W/Rh	5,946

kVp set	mAs	Anoda/Fliter	Dosis (mGy)
20	50	W/Ag	0,557
22	50	W/Ag	0,923
24	50	W/Ag	1,385
26	50	W/Ag	1,925
28	50	W/Ag	2,482
20	100	W/Ag	1,125
22	100	W/Ag	1,867
24	100	W/Ag	2,802
26	100	W/Ag	3,902
28	100	W/Ag	5,030
20	150	W/Ag	1,673
22	150	W/Ag	2,781
24	150	W/Ag	4,190
26	150	W/Ag	5,854
28	150	W/Ag	7,537

Lampiran 2

Data jumlah klasifikasi citra

Filter Al

kVp	mAs	Klasifikasi Citra		
		Serat	Mikro-kalsifikasi	Massa
20	50	0,5	0,5	1,0
22	50	3,0	2,0	3,0
24	50	4,0	2,5	3,5
26	50	4,5	3,0	4,0
28	50	5,0	3,5	4,5
20	100	1,0	2,0	1,5
22	100	3,5	2,5	3,5
24	100	4,0	3,0	4,0
26	100	5,0	3,5	4,0
28	100	5,5	4,0	4,5
20	150	2,0	2,5	2,0
22	150	4,0	3,0	3,5
24	150	4,5	3,0	4,0
26	150	5,5	3,5	4,0
28	150	6,0	4,0	4,5

Filter Rh

kVp	mAs	Klasifikasi Citra		
		Serat	Mikro-kalsifikasi	Massa
20	50	0,0	0,0	0,5
22	50	0,5	2,0	2,0
24	50	3,0	2,0	3,0
26	50	3,5	3,0	3,5
28	50	4,0	3,0	3,5
20	100	0,0	1,0	1,0
22	100	3,0	2,0	2,0
24	100	3,5	2,5	3,0
26	100	4,0	3,0	3,5
28	100	4,5	3,5	4,0
20	150	2,5	2,0	2,0
22	150	4,0	2,5	3,0
24	150	4,0	3,0	3,5
26	150	4,5	3,5	4,0
28	150	5,0	3,5	4,5

Filter Ag

kVp	mAs	Klasifikasi Citra		
		Serat	Mikro-kalsifikasi	Massa
20	50	0,0	0,0	0,5
22	50	1,0	2,0	2,5
24	50	3,0	2,5	3,0
26	50	4,0	3,0	3,5
28	50	4,5	3,0	3,5
20	100	0,5	0,5	0,5
22	100	3,0	2,5	3,0
24	100	4,0	3,0	3,5
26	100	4,5	3,5	4,0
28	100	5,0	3,5	4,0
20	150	2,0	1,0	1,5
22	150	4,0	2,5	3,0
24	150	4,5	3,0	4,0
26	150	4,5	3,5	4,0
28	150	5,0	4,0	4,5

Lampiran 3

Tabel data SNR dan CNR

Filter W/AI

kVp	mAs	Area	Objek		Background		CNR	SNR
			Mean	StdDev	Mean	StdDev		
20	50	66,297	2.331,642	387,946	2.177,829	355,701	0,432	6,555
22	50	66,297	2.126,847	258,471	1.900,304	222,065	1,020	9,578
24	50	66,297	2.057,712	177,370	1.709,558	146,000	2,385	14,094
26	50	66,297	2.088,902	164,104	1.644,328	134,495	3,306	15,531
28	50	66,297	2.072,010	150,779	1.585,071	128,445	3,791	16,131
20	100	66,297	2.365,272	286,279	2.137,202	267,574	0,852	8,840
22	100	66,297	2.079,039	190,532	1.755,981	156,432	2,065	13,290
24	100	66,297	2.025,432	151,246	1.628,343	120,081	3,307	16,867
26	100	66,297	2.058,118	139,283	1.551,094	109,290	4,639	18,832
28	100	66,297	2.052,524	129,792	1.525,134	91,220	5,782	22,501
20	150	66,297	2.323,461	244,205	2.037,926	220,719	1,294	10,527
22	150	66,297	2.011,613	151,294	1.654,672	120,799	2,955	16,653
24	150	66,297	2.023,021	148,026	1.563,360	112,006	4,104	18,062
26	150	66,297	2.125,011	151,678	1.512,264	98,295	6,234	21,619
28	150	66,297	2.089,075	126,296	1.539,248	80,946	6,793	25,808

Filter W/R

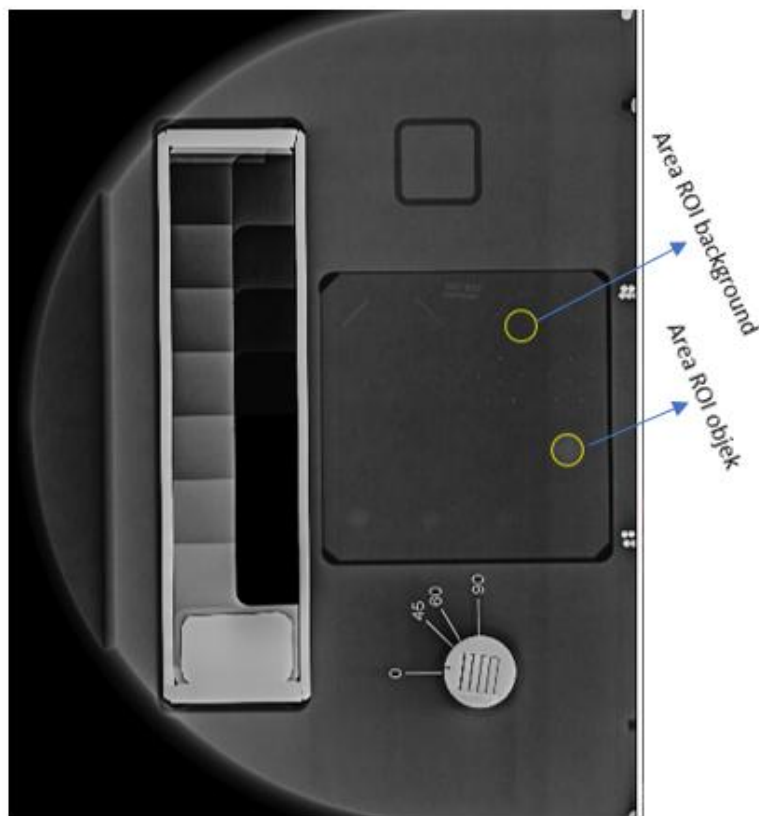
kVp	mAs	Area	Objek		Background		CNR	SNR
			Mean	StdDev	Mean	StdDev		
20	50	66,297	2.372,607	289,527	2.192,590	266,158	0,676	8,914
22	50	66,297	2.185,543	259,503	1.903,747	228,751	1,232	9,554
24	50	66,297	2.043,784	161,181	1.742,282	139,489	2,161	14,652
26	50	66,297	2.020,626	145,064	1.685,743	118,652	2,822	17,030
28	50	66,297	2.002,216	143,788	1.635,430	115,166	3,185	17,385
20	100	66,297	2.377,324	260,134	2.113,351	229,876	1,148	10,342
22	100	66,297	2.099,976	192,476	1.794,768	161,258	1,893	13,022
24	100	66,297	1.993,265	129,556	1.669,494	107,312	3,017	18,574
26	100	66,297	1.986,146	129,325	1.607,938	102,655	3,684	19,348
28	100	66,297	2.008,193	151,967	1.546,842	105,198	4,386	19,090
20	150	66,297	2.022,536	153,056	1.702,273	124,222	2,578	16,282
22	150	66,297	2.043,359	140,755	1.627,213	112,932	3,685	18,094
24	150	66,297	2.034,542	140,343	1.616,744	108,675	3,844	18,721
26	150	66,297	2.016,962	140,530	1.543,349	94,818	4,995	21,272
28	150	66,297	2.012,946	138,363	1.536,470	81,772	5,827	24,617

Filter Ag

kVp	mAs	Area	Objek		Background		CNR	SNR
			Mean	StdDev	Mean	StdDev		
20	50	66,297	2.352,190	384,040	2.196,790	354,326	0,439	6,638
22	50	66,297	2.149,629	253,940	1.888,976	220,930	1,180	9,730
24	50	66,297	2.053,253	180,593	1.711,234	146,143	2,340	14,050
26	50	66,297	2.085,951	166,093	1.637,745	135,396	3,310	15,406
28	50	66,297	2.063,945	159,372	1.582,925	128,675	3,738	16,040
20	100	66,297	2.361,298	287,622	2.129,985	266,939	0,867	8,846
22	100	66,297	2.085,037	186,982	1.750,248	155,200	2,157	13,435
24	100	66,297	2.030,264	146,347	1.616,668	119,188	3,470	17,034
26	100	66,297	2.055,111	142,717	1.545,080	109,560	4,655	18,758
28	100	66,297	2.048,246	134,982	1.520,723	91,584	5,760	22,365
20	150	66,297	2.323,461	244,205	2.027,269	220,485	1,343	10,538
22	150	66,297	2.010,774	151,946	1.646,884	120,234	3,027	16,724
24	150	66,297	2.026,837	144,139	1.553,116	113,740	4,165	17,820
26	150	66,297	2.115,111	162,927	1.505,857	99,256	6,138	21,310
28	150	66,297	2.085,622	130,670	1.531,868	81,830	6,767	25,487

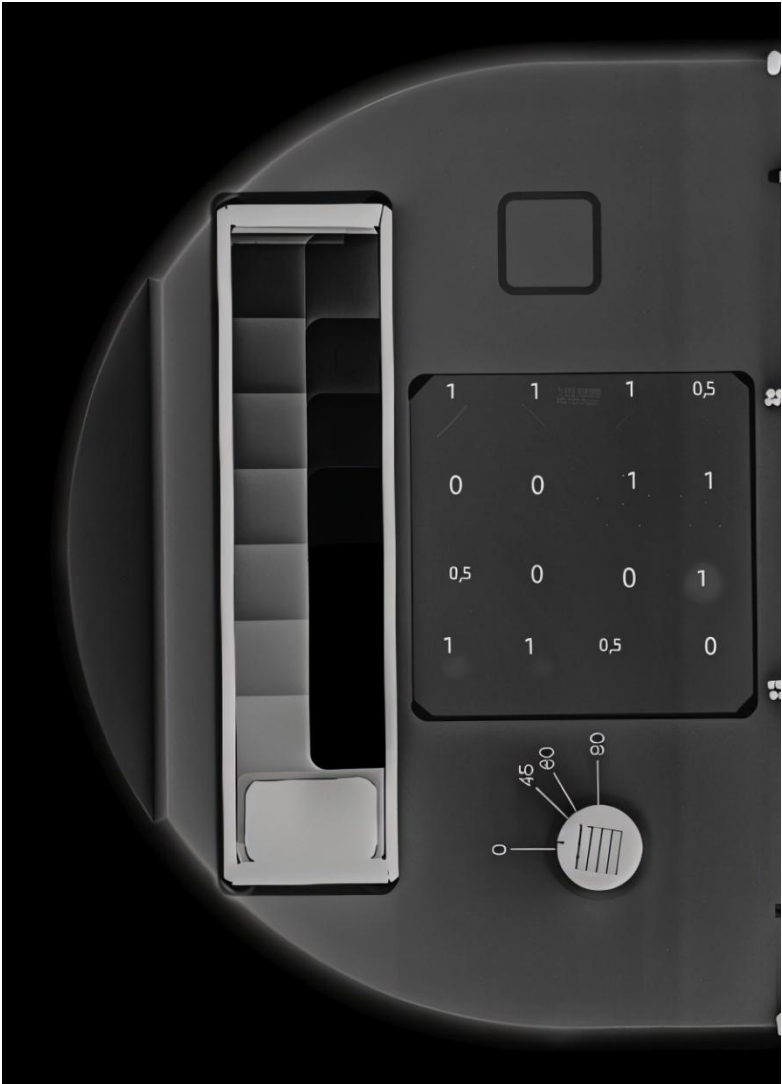
Lampiran 4

Area ROI



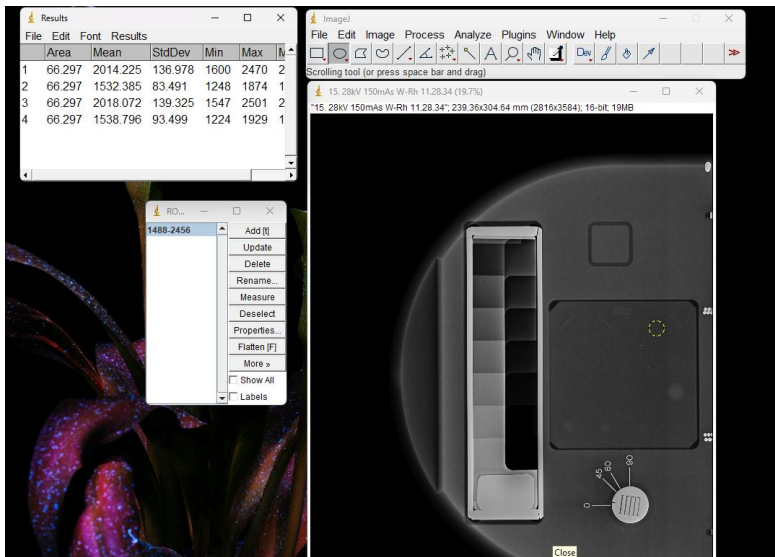
Lampiran 5

Struktur yang terdeteksi pada fantom



Lampiran 6

Tampilan Software ImageJ

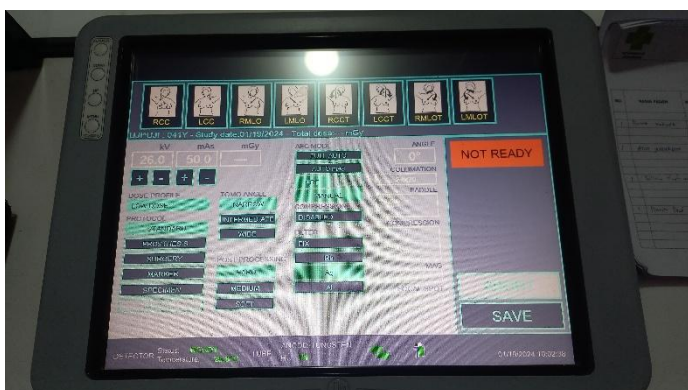


Bukti Izin Riset

		RINCIAN BIAYA PENELITIAN			
DARI	:	UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO (SEMARANG)			
PROGRAM/ SEMESTER	:	S1 / FISIKA			
KERJA LAPANGAN	:	RISET			
WAKTU / LAMANYA	:	1 Paket (15 Hari)			
JUMLAH	:	1 MHS a.n (FADILLAH)			
TEMPAT	:	R. RADIOLOGI			
 RINCIAN PEMBAYARAN SBB		:			
JASA RUMAH SAKIT	:	1 Org x	hari x	=	Rp 162.000
JASA PENGELOLA	:	1 Org x	hari x	=	Rp 108.000
				Rp	270.000
 Mengetahui,					
Jin Indrayani				Dessy Ariyanti	
 Pembayaran dapat dilakukan ke :					
An. RSUD Gunung Jati Kota Cirebon					
Jl. Kesambi No. 56 Cirebon					
BJB Cab. Cirebon					
No. Rek. 0020030060102					

Lampiran 7


Proses pengambilan data dosis





Lampiran 8

Hasil Cek Turnitin

 Page 2 of 76 - Integrity Overview Submission ID tmcoid:113284651950




18% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Quoted Text

Top Sources

17%		Internet sources
4%		Publications
4%		Submitted works (Student Papers)

RIWAYAT HIDUP

A. IDENTITAS DIRI

Nama : Fadhillah
Tempat, Tgl lahir : Cirebon, 26 Februari 2024
Alamat Rumah : Dusun 01 RT/RW 02/02
Desa Buntet
Kecamatan Astanajapura
Kabupaten Cirebon
Provinsi Jawa Barat
No HP : 081313471840
E-mail : fadhillahf565@gmail.com

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SDN 3 BUNTET (2009-2015)
2. MTsN 6 CIREBON (2015-2018)
3. MAN 3 CIREBON (2018-2021)
4. UIN WALISONGO (2021-2025)