

Skripsi

**DESAIN FILTER PESAWAT MAMOGRAFI DARI KALENG
ALUMINIUM BEKAS SPRITE UNTUK PENENTUAN NILAI *HALF*
*VALUE LAYER***

**SITI NURHAYATI
H021181322**



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**DESAIN FILTER PESAWAT MAMOGRAFI DARI KALENG
ALUMINIUM BEKAS SPRITE UNTUK PENENTUAN NILAI *HALF*
*VALUE LAYER***

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada Program Studi Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

**SITI NURHAYATI
H021181322**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

HALAMAN PENGESAHAN

**DESAIN FILTER PESAWAT MAMOGRAFI DARI KALENG
ALUMINIUM BEKAS SPRITE UNTUK PENENTUAN NILAI *HALF*
*VALUE LAYER***

Disusun dan diajukan oleh:

SITI NURHAYATI

11021181322

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
Pada 19 Oktober 2022

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Syamsir Dewang, M. Eng.Sc
NIP. 19630111 199002 1 001

Pembimbing Pertama



Mulyadin, S.Si., M.Si
NIP.19760502 200112 1 002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Arifin, M.T
NIP. 19670520 199403 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : SITI NURHAYATI

NIM : H021181322

Program Studi : Fisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

DESAIN FILTER PESAWAT MAMOGRAFI DARI KALENG ALUMINIUM BEKAS SPRITE UNTUK PENENTUAN NILAI *HALF* *VALUE LAYER*

Adalah karya tulis berdasarkan hasil pemikiran dan penelitian saya, bukan merupakan hasil pengambil alihan tulisan maupun pemikiran orang lain. Jika terdapat karya orang lain dalam skripsi ini, maka akan dicantumkan sumber yang benar dan jelas. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, jika dikemudian hari terdapat ketidakbenaran dan penyimpangan dalam pernyataan ini, maka saya berhak menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 19 Oktober 2022

Menyatakan

Siti Nurhayati

Siti Nurhayati
H021181322

ABSTRAK

Kualitas berkas radiasi adalah salah satu parameter penting yang perlu dikontrol pada pesawat mamografi dan merupakan energi efektif dari sinar-X yang diperlukan untuk menembus suatu objek yang disinari. Dalam penelitian ini telah diuji dua jenis filter yaitu filter aluminium standar dan filter aluminium uji (terbuat dari kaleng aluminium bekas sprite) untuk menentukan nilai *Half Value Layer* (HVL). Penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan filter aluminium uji dengan kemurnian aluminiumnya yaitu 96,827%. Metode yang digunakan adalah metode tidak langsung yaitu dengan melakukan perhitungan setelah penambahan maupun pengurangan tebal filter aluminium dengan variasi tegangan 25 kV, 27 kV, 29 kV, 31 kV dan 33 kV dan arus waktu 50 mAs. Nilai HVL yang diperoleh filter aluminium standar berkisar antara 0,28-0,36 mm, sedangkan untuk filter aluminium uji antara 0,30-0,40 mm. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa aluminium uji layak untuk digunakan sebagai filter dalam pesawat sinar-X mamografi dan nilai HVL dari kedua jenis filter yang digunakan untuk setiap variasi tegangan tabung berada dalam batas toleransi yang ditentukan oleh BAPETEN.

Kata Kunci: *Kualitas Berkas Radiasi, Mamografi, HVL, Kaleng Sprite.*

ABSTRACT

The quality of the radiation beam is one of the important parameters that need to be controlled on a mammography machine and is the effective energy of X-rays needed to penetrate an irradiated object. In this study, two types of filters were tested, namely standard aluminum filters and test aluminum filters (made from sprite aluminum cans) to determine the Half Value Layer (HVL) value. This study aims to test the feasibility of a test aluminum filter with an aluminum purity of 96.827%. The method used is an indirect method, namely by calculating after adding or reducing the thickness of the aluminum filter with a voltage variation of 25 kV, 27 kV, 29 kV, 31 kV and 33 kV and a time current of 50 mAs. The HVL values obtained by standard aluminum filters ranged from 0.28-0.36 mm, while for test aluminum filters it was between 0.30-0.40 mm. The results obtained indicate that the test aluminum is suitable for use as a filter in X-ray mammography and the HVL values of the two types of filters used for each tube voltage variation are within the tolerance limits specified by BAPETEN.

Keywords: Radiation Beam Quality, Mammography, HVL, Sprite Cans.



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah *Subhanahu Wa ta'ala* Yang Maha Pemberi Petunjuk, Yang Maha Mengetahui dan Maha Kuasa Atas Segala Sesuatu. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi dan Rasul yang paling mulia yakni Rasulullah *Shallallahu 'Alaihi Wasallam*, kepada para keluarga, sahabat beliau yang senantiasa mencintai Rasulullah.

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا.

“*Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.*” (Qs. Al- Insyirah: 6)

Cukup panjang perjalanan yang penulis lalui, mulai dari proses penelitian hingga perampungan penulisan skripsi. Segala kemudahan dari penelitian maupun penulisan skripsi ini tidak lepas dari pertolongan Allah *Subhanahu Wa ta'ala* dan do'a dari orang-orang yang tulus dan mencintai penulis sehingga skripsi yang berjudul “**DESAIN FILTER PESAWAT MAMOGRAFI DARI KALENG ALUMINIUM BEKAS SPRITE UNTUK PENENTUAN NILAI *HALF VALUE LAYER***” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin bisa dirampungkan. Dalam proses penyelesaian skripsi ini, banyak hambatan dan rintangan yang penulis dapatkan, namun berkat do'a dan bimbingan dari berbagai pihak, baik materi, dukungan moral maupun spritual, Alhamdulillah penulis dapat melewatinya. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, izinkan penulis haturkan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada pihak-pihak yang Allah takdirkan untuk membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini:

1. Orang tua tercinta, ibunda **Siti Juria** dan Ayahanda **Ahmad Bahari** yang senantiasa mendoakan setiap langkah yang penulis ambil, cinta yang luar biasa yang selalu penulis rasakan, semangat, motivasi dan dukungan materi maupun moral selama penulis menempuh kuliah bidang fisika di Universitas

Hasanuddin. Terima kasih juga kepada kedua kakak hebat penulis (**Abdul Alwi & Muhammad Harto**) yang selalu siap sedia setiap penulis membutuhkan sesuatu, selalu memberikan dukungan, semangat dan motivasi kepada penulis. Kepada ketiga adik saya (**Siti Fatmawati, Siti Hadija & Ahmad Jenudin**) yang selalu menemani penulis baik senang maupun susah, yang kadang menjadi kakak, sahabat dan ibu bagi penulis. Semoga kalian senantiasa berada dalam perlindungan dan penjagaan Allah.

2. Orang tua kedua penulis, Bapak **Andi Muhammad Saibu, S.H.**, dan Ibu **Dra. Andi Hilmiyah Marzuki** yang telah sabar, tulus, ikhlas dalam mendidik penulis selama penulis di Panti Asuhan Miftahul Khair. Terima kasih juga kepada **Andi Itha, Andi Fauziyah, Andi Nisa, Andi Mamar dan Andi Iqbal** karena sudah sangat baik dengan penulis. Semoga surganya Allah menjadi sebaik-baik balasan untuk kalian.
3. **Prof. Dr. Syamsir Dewang, M. Eng.Sc.**, sebagai pembimbing utama dan Bapak **Mulyadin, S.Si., M.Si.**, selaku pembimbing pertama yang dengan ikhlas, tulus, dan sabar dalam meluangkan banyak waktunya, tenaga dan pikirannya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan studi hingga akhir.
4. **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA.**, dan Bapak **Bannu, S.Si., M.Si.**, selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan masukan atau saran yang membangun bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. **Prof. Dr. Afirin, M.T.**, selaku Ketua Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
6. Ibu **Dr. Sry Dewi Astuty Ilyas, S.Si., M.Si.**, selaku dosen Penasehat Akademik (PA) yang telah memberikan nasehat, arahan, motivasi dan bimbingan selama proses perkuliahan penulis.
7. Seluruh Bapak/Ibu **Dosen FMIPA** dan terkhusus kepada seluruh **Dosen Departemen Fisika** yang atas takdir dan izin Allah bisa membagikan ilmu yang Allah titipkan kepada mereka untuk penulis.

8. Seluruh **Pegawai dan Jajaran Staf FMIPA** dan terkhusus kepada seluruh **Pegawai dan Staf Departemen Fisika (Kak Rana, Ibu Evi dan Pak Syukur)** yang telah membantu penulis dalam mengurus administrasi selama perkuliahan.
9. Adik-Adik penulis di **Panti Asuhan Miftahul Khair (Ija, Hasma, Virma, Hayat, Aini, Marhayat, Devi, Sarah, Ira, Surni, Rati, Chin, Dea, Fya, Tika, Intan, Ayu, Sherina, Aisyah, Marwa, Rafil, Dirman, Aco, Ma'ruf, Asdiman, Saidil, Ateng, Rifqi, Iqbal, Tauhid, Herman, Farel, Alwi, Manda, Said, Adam, Riski dan Radin)**. Terima kasih karena selalu mendengarkan cerita penulis, keluh kesah penulis, menghargai, mencintai, dan selalu mengandalkan penulis dalam berbagai hal dan masalah yang kalian hadapi. Penulis mencintai kalian karena Allah.
10. **Adek Shakira** dan **Adek Iskan** yang selalu menjadi teman makan, main dan berantem penulis, sehingga penulis tidak terlalu stres memikirkan tugas akhir penulis. Semoga kalian tidak melupakan penulis ketika sudah besar. Penulis sangat mencintai kalian.
11. Tim **“Wisuda Nur November” (Mely, Ramla, Ifha dan Hasni)** yang selalu menjadi tempat keluh kesah penulis. Terima kasih karena masih bersama penulis dari SMP hingga sekarang, selalu meluangkan waktu tiap bulan untuk datang menghibur penulis meskipun banyak kesibukan kerja dan kuliah kalian.
12. **Nur Aqila Ismail** yang selalu memotivasi, memberikan nasehat, kebersamai baik dalam penelitian maupun organisasi dakwah, salah satu *partner* Rohis BEM FMIPA yang paling hebat dan banyak berjuangnya dan yang selalu bilang “Ada Allah” ketika penulis khawatir akan beberapa hal. Terima kasih karena sudah menjadi salah satu *partner* penelitian penulis. Semoga Allah selalu memudahkan urusan-urusanmu.
13. **Fenny Rahmah Sari** yang selalu kebersamai dari masa-masa maba, masa KKN, masa penelitian hingga sekarang, yang selalu membantu penulis, memberikan saran dan masukan sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Terima kasih karena sudah menjadi *partner* penelitian penulis. Semoga Allah membalas semua kebaikanmu dan keluarga dengan kebaikan pula.

14. **Nur Azmi Afifah**, saudara kembar tak sedarah penulis, teman cerita keluh kesah penulis, yang selalu menyemangati dan membantu penulis. Terima kasih masih saling kontak dan ketemu meskipun sudah beda jurusan. Semoga dirimu selalu perlindungan Allah.
15. **Yulia Fajriani**, yang selalu menjadikan penulis sebagai teman cerita, yang selalu sabar dan tenang dalam menghadapi masalah. Terima kasih karena masih bertahan menjadi teman penulis.
16. **Afni, Risda, Ilmi, Indah, Fatimah, Maya, Milda, Uli, Yuni, Cunni, Dena, Yesi, Gebi, Wibu, Suci, Nunu, Anty, Dei, Vika, Angela dan semua teman-teman FISIKA 2018 yang belum sempat tertulis nama-namanya)** yang selalu kebersamai dari maba hingga sekarang, selalu memberi semangat, motivasi, dukungan, mendoakan selama masa perkuliahan hingga skripsi ini bisa dirampungkan. Terima Kasih banyak, kalian adalah orang-orang hebat dan kuat. Semoga kalian menjadi orang yang sukses dunia akhirat.
17. **Himafi 2018**, yang sangat penulis sayangi. Terima kasih karena telah bersama dari masa-masa maba, masa pengumpulan, pengaderan hingga sekarang, semua kenangan, pembelajaran hidup yang telah diajarkan kepada penulis. Semoga kalian semua sukses dunia akhirat.
18. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan doa, semangat, serta dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, doa yang baik Insyaa Allah akan kembali kepada kalian, semoga selalu diberikan kesuksesan dunia dan akhirat, diberikan kesehatan dan senantiasa dalam lindungan allah dimana pun kalian berada.

Makassar, 19 Oktober 2022

Siti Nurhayati

H021181322

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYTAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sinar-X	4
2.2 Kanker Payudara	5
2.3 Pesawat Mamografi.....	6
2.4 Prinsip Kerja Mamografi.....	8
2.5 <i>Half Value Layer</i> (HVL)	9
2.6 Pengertian Kualitas Berkas	11
2.7 Kaleng Aluminium.....	12
2.8 Faktor Eksposi.....	13
2.9 <i>Automatic Exposure Control</i> (AEC).....	13
BAB III. METODE PENELITIAN	14
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	14
3.2 Alat dan Bahan.....	14
3.3 Prosedur Penelitian.....	14
3.4 Teknik Analisis Data.....	15

3.5 Bagan Alir Penelitian	16
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Penentuan Nilai Dosis Mula-mula (D_0) tanpa Menggunakan Filter	18
4.2 Penentuan Nilai HVL menggunakan Filter Aluminium Standar	19
4.5 Penentuan Nilai HVL menggunakan Filter dari Kaleng Aluminium.....	20
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	24
5.1 Kesimpulan	24
5.2 Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN.....	28

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram perangkat pesawat mamografi	9
Gambar 2.2 Pengukuran HVL menggunakan penganalisaansinar no invasif.....	12
Gambar 3.2 Bagan Alir.....	16
Gambar 4.1 Grafik hubungan tegangan terhadap nilai HVL filter aluminium... standar serta batas minimum dan maksimum nilai HVL	22
Gambar 4.2 Grafik hubungan tegangan terhadap nilai HVL filter aluminium... uji serta batas minimum dan maksimum nilai HVL	22

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Parameter C yang Dipengaruhi oleh Anoda/Filter11 pada Pesawat Mamografi
Tabel 2.2 Nilai HVL yang dapat Diterima untuk Target Filter Mo/Mo.....11
Tabel 4.1 Pengukuran Dosis Tanpa Filter untuk Mendapatkan.....18 Nilai Setengah Dosis Awal ($D_0/2$)
Tabel 4.2 Data Pengukuran untuk mendapatkan Nilai HVL.....19 menggunakan Filter Standar
Tabel 4.3 Data Pengukuran Nilai HVL menggunakan.....20 Filter Aluminium uji

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kanker payudara merupakan salah satu kanker yang paling mematikan bagi wanita, dengan total 2,3 juta kasus baru dan mengalahkan kanker paru-paru sebagai kanker yang sering didiagnosis di seluruh dunia, kemudian diikuti oleh kanker korektoral, prostat dan perut. Kanker payudara juga merupakan beban berat kesehatan dari masyarakat dan untuk pencegahan primer dan sekundernya membutuhkan penguatan secara global [1]. Data dari *Global Cancer Observatory* pada tahun 2018 dari *World Health Organization (WHO)*, kanker payudara di Indonesia tercatat 58.256 kasus (16,7%) dari total kasus kanker lainnya dan data statistik menunjukkan kanker payudara mencapai angka 42,1 orang per 100 ribu penduduk di Indonesia dengan rata-rata angka kematian mencapai 17 orang per 100 penduduk. Oleh sebab itu, deteksi dini dari kanker payudara merupakan langkah yang sangat efektif untuk mengetahui penyakit ini lebih awal sehingga bisa segera ditentukan intensitas pengobatan seperti apa yang dibutuhkan, selain itu deteksi dini juga bisa memiliki kemungkinan dapat menurunkan angka kematian dan meningkatkan probabilitas kesembuhan dibandingkan penanganannya yang lebih lambat. Yayasan Kesehatan Payudara Jakarta (YKPJ) sangat merekomendasikan mamografi sebagai pemeriksaan dini yang sangat efektif bagi wanita paruh baya dalam kurun waktu 1-5 tahun sekali [2].

Pesawat mamografi adalah salah satu pesawat dari radiologi yang bekerja memerlukan radiasi sinar-X sebagai alat pendeteksi dini (*screening*) untuk mendiagnosis kanker payudara. Mamografi dapat memperlihatkan kelainan pada payudara pasien dalam bentuk yang sangat kecil hingga kurang dari 5 mm. Tegangan tabung yang digunakan pada pesawat mamografi relatif lebih rendah yaitu <40 kVp disebabkan jaringan dari payudara merupakan jaringan lunak dan tipis. Salah satu parameter penting pada pesawat mamografi yang perlu dikontrol adalah kualitas berkas radiasi yang merupakan energi efektif dari sinar-X yang diperlukan untuk menembus suatu objek yang disinari. Kualitas berkas radiasi ini

dikarakterisasi secara numerik dengan nilai HVL. Penggunaan jenis material dan ketebalan filter dari pesawat mamografi telah ditentukan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dalam Peraturan nomor 2 tahun 2018 yang telah menetapkan nilai standar yang harus dipenuhi berdasarkan nilai *Half Value Layer* (HVL) pada setiap faktor eksposi tegangan tabung. HVL merupakan ketebalan suatu filter yang bisa mengurangi paparan radiasi menjadi separuh dari nilai awalnya. Tegangan tabung dan jenis filter yang digunakan sangat berpengaruh terhadap nilai HVL. Semakin tinggi tegangan tabung, maka semakin besar energi sinar-X yang berarti membutuhkan filter yang cukup tebal supaya paparan sinar-X berkurang menjadi setengahnya [3].

Penelitian yang telah dilakukan oleh Sidauruk et al (2018) membandingkan nilai HVL menggunakan filter aluminium, tembaga dan timah dengan variasi tegangan 50, 60 dan 70 kVp dan metode yang digunakan berdasarkan pada Peraturan BAPETEN No.09 Tahun 2011 dan Standar *Western Australia*. Hasil yang didapatkan dari ketiga jenis filter yang paling baik lapisannya untuk HVL adalah aluminium dan tembaga, sedangkan timah tidak cocok sebagai filter untuk mengukur HVL pada sinar-x pada tegangan 50-90 kVp [4]. Penelitian selanjutnya Sitompul dkk (2017) tentang pemanfaatan logam aluminium pada kaleng minuman soda menjadi tawas. Kadar aluminium yang didapatkan dari kaleng aluminium soda tersebut adalah 86% [5]. Penelitian yang terakhir oleh Mutmainna dkk (2020) tentang uji kesesuaian standar nilai HVL pada pesawat sinar-X mamografi dan didapatkan hasil nilai HVL untuk pengukuran tidak langsung yakni penambahan tebal filter aluminium secara bertahap berada diantara 0,268-0,401 mmAl, sedangkan pada pengukuran langsung yakni tanpa filter berada diantara 0,291-0,338 mmAl dengan deviasi antara 1,39-7,90% dengan variasi tegangan 23-33 kVp [3].

Filter pada pesawat mamografi merupakan bahan yang digunakan untuk mendapatkan kualitas berkas radiasi yang dibutuhkan dan ditempatkan di depan sumber radiasi sinar-X untuk mengurangi intensitas panjang gelombang tertentu sehingga sinar-X yang mempunyai panjang gelombang yang tinggi akan diserap oleh filter. Salah satu kegunaan filter juga adalah untuk meminimalkan dosis yang

diterima oleh pasien dan mengoptimalkan gambar. Filter dalam pesawat mamografi didesain dari bahan tertentu yang dapat menyerap berkas sinar-X secara kolektif, proses pemfilteran tersebut biasanya disebut proses filtrasi. Sebab utama difilternya suatu berkas adalah untuk menghilangkan foton yang dapat meningkatkan dosis radiasi namun tidak mempengaruhi gambar radiografi [6]. Namun, filter asli dari pesawat sinar-X mamografi sangat mahal dan susah untuk didapatkan, jadi dalam penelitian ini akan didesain filter mamografi dengan memanfaatkan kaleng aluminium bekas untuk penentuan nilai HVL pada pesawat mamografi. Maka dari itu, akan dilakukan penelitian tentang “**Desain Filter Pesawat Mamografi dari Kaleng Aluminium Bekas untuk Penentuan Nilai *Half Value Layer***”. Penelitian ini bertujuan untuk menguji dan menganalisis hasil dari filter aluminium bekas untuk penentuan nilai *Half Value Layer* pada pesawat mamografi.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penentuan nilai HVL pada pesawat mamografi dengan menggunakan kaleng aluminium bekas?
2. Bagaimana hasil pengukuran nilai HVL dari filter asli dan filter dari kaleng aluminium bekas pada pesawat mamografi?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menguji penggunaan filter mamografi dari kaleng aluminium bekas untuk penentuan nilai HVL pada pesawat mamografi.
2. Menganalisis hasil pengukuran nilai HVL dari filter asli dan filter dari kaleng aluminium bekas pada pesawat mamografi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sinar-X

Radiasi sinar-X adalah pancaran energi yang bersumber dari proses Bremsstrahlung yang merupakan pancaran radiasi gelombang elektromagnetik jika elektron dipercepat dalam medan listrik inti atom. Faktor-faktor yang mempengaruhi radiasi sinar-X salah satunya adalah tegangan tabung atau beda potensial antara anoda dan katoda [7]. Energi yang dimiliki oleh sinar-X mampu mengionisasi materi yang dilaluinya. Oleh sebab itu, sinar-X digolongkan menjadi radiasi pengion. Salah satu sifat dari sinar-X dapat menghitamkan plat fotografi, sifat ini dimanfaatkan untuk memperoleh hasil anatomi dalam tubuh manusia sehingga dapat diketahui penyakit dari pasien tersebut. Sinar-X dapat berbahaya pada sel-sel tubuh sehat yang lainnya jika dosis radiasi yang diberikan berlebihan. Diantara cara untuk meminimalisir dosis radiasi yang tinggi agar tidak merusak sel sehat adalah dengan menggunakan filter di dalam tabung sinar-X [3].

Radiasi sinar-X ketika mengenai suatu bahan dapat mengalami hamburan. Radiasi hambur merupakan radiasi yang keluar dari obyek dan tidak searah dengan radiasi primernya. Sedangkan radiasi primer merupakan radiasi yang berjalan dari tabung sinar-X [8]. Banyaknya foton sinar-X yang dihamburkan dan diteruskan akan berpengaruh pada kualitas radiograf yang dihasilkan nantinya. Sedangkan foton sinar-X yang diserap hanya akan berpengaruh pada dosis radiasi yang mengenai pasien [9].

Pesawat sinar-X ketika hendak digunakan, perlu diatur terlebih dahulu parameter untuk mendapatkan radiasi yang dibutuhkan. Parameter-parameter yang dimaksud adalah tegangan (kV), arus tabung (mA) dan waktu paparan (s). Tegangan tabung adalah salah satu faktor yang dapat dikontrol pada pesawat sinar-X untuk mengurangi dosis dan radiasi hambur yang dibutuhkan dalam radiodiagnostik. Jika nilai tegangan tabung pada pesawat sinar-X ditingkatkan, maka nilai arus tabung dan waktu penyinaran harus diturunkan agar diperoleh

intensitas radiasi dengan densitas bayangan yang cukup. Energi sinar-X berbanding lurus dengan kuadrat tegangan tabung. Semakin besar tegangan tabung yang digunakan maka semakin besar radiasi sinar-X yang dipancarkan, begitu juga sebaliknya, semakin rendah tegangan tabung yang digunakan maka radiasi sinar-X yang dipancarkan juga sedikit. Waktu penyinaran dan arus tabung merupakan faktor yang saling terikat satu sama lain dalam menentukan intensitas radiasi yang akan dipancarkan ke tubuh pasien yang akan ditangkap oleh film dan akan membentuk citra dari bagian tubuh yang telah disinari [10].

II.2 Kanker Payudara

Kanker payudara berasal dari sel-sel yang berada pada jaringan payudara. Keganasan sel ini dapat merambat ke organ tubuh lain, seperti hati, otak, paru dan tulang. Pada wanita muda, kanker payudara lebih berisiko dibanding pada wanita yang sudah memasuki atau telah melewati fase menopause. Perkembangan sel kanker pada wanita muda cenderung terjadi lebih agresif. Jika seseorang mulai merasa muncul beberapa gejala kanker payudara, sebaiknya segera melakukan pemeriksaan diri ke dokter. Beberapa gejala kanker payudara yang harus diwaspadai oleh wanita adalah:

- a. Timbulnya benjolan permanen yang cukup keras dan tidak terasa sakit ketika ditekan
- b. Di sekitar ketiak dan payudara terjadi penebalan kulit
- c. Bentuk dan ukuran payudara berubah
- d. Terjadinya kerutan di bagian kulit payudara
- e. Keluarnya cairan darah dari puting
- f. Terasa ada tarikan di bagian puting

Ada tiga cara yang sangat penting dalam penanggulangan kanker payudara yaitu: pencegahan, deteksi dini dan pengobatan. Upaya pencegahan cukup sulit dilakukan disebabkan belum ditemukannya penyebab tunggal dari munculnya kanker payudara. Jadi, deteksi dini sangat penting untuk mengetahui kanker payudara lebih awal [11].

II.3 Pesawat Mamografi

Pesawat mamografi adalah salah satu peralatan radiologi yang digunakan secara khusus untuk mendeteksi kelainan pada payudara. Pesawat mamografi didesain khusus untuk bisa membedakan antara tumor dan jaringan lunak dan dapat memperoleh dosis radiasi yang relatif lebih rendah, karena penggunaan dosis radiasi yang berlebihan pada jaringan payudara akan berbahaya pada organ di sekitar payudara. Perbedaan intensitas gelombang pada tumor dan jaringan lunak payudara terjadi foton dengan energi yang rendah (> 35 kV). Sebab, intensitas gelombang yang tinggi dapat menyebabkan kontras radiografi juga tinggi dan penggunaan teknik radiasi tegangan yang terlalu rendah juga dapat menyebabkan dosis radiasi yang terserap oleh jaringan payudara tinggi. Oleh karena itu, dibutuhkan energi radiasi yang tepat agar memperoleh hasil yang bagus untuk membuat diagnosis, dengan batas dosis yang masih diizinkan. Karena itu, tegangan pada tabung pesawat mamografi dirancang lebih rendah yaitu > 40 kVp dengan menggunakan target dan filter yang khusus karena jaringan payudara memiliki jaringan yang lunak dan tipis [12].

Pesawat sinar-X mamografi juga memanfaatkan radiasi ion seperti halnya penggunaan sinar-X pada pesawat lainnya, untuk membuat citranya terbentuk. Radiolog akan menganalisa hasil citranya untuk menemukan adanya pertumbuhan jaringan yang abnormal. Meskipun teknologi dari mamografi banyak mengalami kemajuan dan inovasi, ternyata ada beberapa komunitas medis yang meragukan penggunaan mamografi untuk deteksi kanker payudara dikarenakan tingkat kesalahan yang masih tinggi dan radiasi yang digunakan juga masih menimbulkan bahaya. Ada sekitar 10% kasus kanker payudara yang diketahui tidak terdeteksi oleh mamografi. Hal ini terjadi disebabkan oleh jaringan normal yang lebih tebal disekitar kanker yang menutupi jaringan kanker sehingga jaringan kanker tidak bisa terlihat [13].

Ada 2 jenis pesawat mamografi, yaitu sebagai berikut

- a. *Screen-film* mamografi, seperti halnya rontgen yang menggunakan film yang harus di cetak

- b. *Full-field* mamografi, hasilnya dapat dilihat di monitor secara digital dan dapat dicetak jika diperlukan ini bergantung kepada anatomi pasien, faktor psikologi, dan lain-lain. Sampel kemudian diuji di laboratorium dan hasil diperoleh dalam waktu sekitar 3 minggu. Sedikit pendarahan, kram dan lain-lain dapat terjadi sesudahnya [14].

Uji kesesuaian pesawat sinar-X mamografi terbagi menjadi dua bagian, yaitu sebagai berikut:

- a. Pemeriksaan awal yaitu perlengkapan pesawat mamografi.
Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengevaluasi fungsi mekanik dari sistem dan keselamatan dalam pengoperasian pesawat mamografi.

- b. Uji teknis

Pada dasarnya komponen uji teknis untuk semua jenis mamografi adalah sama. Namun karena terdapat variasi jenis reseptor citra, yaitu analog (*film/Screen*) dan digital (CR dan DR), maka terdapat beberapa perbedaan metode uji untuk masing-masing sistem tersebut.

Uji teknis pesawat sinar-X mamografi secara umum dibagi menjadi:

1. Uji kolimasi berkas cahaya
2. Uji generator dan tabung sinar-X
 - Akurasi dan reproduksibilitas tegangan
 - Reproduksibilitas dan linearitas output
 - Kualitas berkas radiasi (HVL)
 - Kendali paparan otomatis (AEC)
3. Informasi dosis pasien
 - Kerma udara
 - *Mean Glandular Dose* (MGD)
4. Kualitas citra
5. Respon detektor (digital) [15].

Pesawat sinar-X mamografi meliputi:

- a. Tabung
- b. Pembangkit tegangan
- c. Panel kontrol

d. Perangkat lunak, perangkat penunjang terdiri atas komponen:

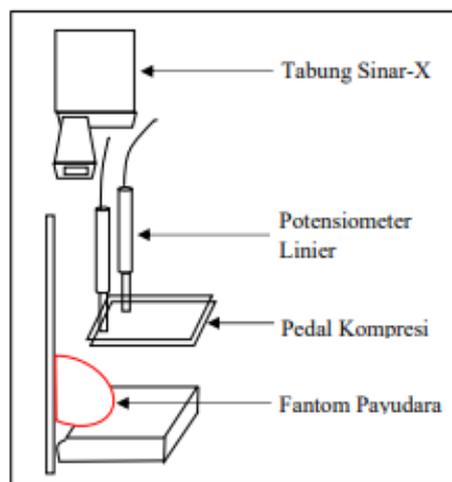
1. Tiang penyangga
2. Kolimator
3. Instrumentasi tegangan
4. Tabir, verifikasi keselamatan meliputi
 - Pemantauan paparan radiasi
 - Uji kesesuaian pesawat sinar-X
 - Identifikasi terjadinya paparan potensial [16].

Lemak terlihat berwarna hitam dalam mamografi, sedangkan untuk kelenjar, tumor dan jaringan ikat kalsifikasi yang terlihat bervariasi yaitu putih dan abu-abu. Jika dibandingkan dengan dada dan perut, payudara termasuk daerah jaringan (*soft tissue*), sehingga paparan sinar-X yang diberikan lebih rendah dari perangkat sinar-X untuk dada dan lainnya. Oleh karena itu, tujuan mamografi yaitu menghasilkan citra yang memperlihatkan mikrokalsifikasi dengan kontras yang tinggi dan mampu memperlihatkan sebagian besar daerah jaringan dari payudara dengan kontras yang lebih rendah. Perangkat mamografi dioperasikan pada tegangan 30 kV untuk payudara kecil, dalam hal ini berarti energi sinar-X efektif 18-20 keV, cukup beri keseimbangan antara dosis dan kontras. Sedangkan untuk payudara yang tebal energi sinar-X yang digunakan di naikan sedikit dan digunakan filter dengan ketebalan yang berbeda. Untuk pemilihan tabung sinar-X mamografi optimalnya menggunakan tabung dengan anoda dan filter (0,03) yang terbuat dari bahan *molybdenum* (Mo), karena memiliki karakteristik energi sinar-X efektifnya 17,9 dan 19,5 keV yang berarti memberi keseimbangan antar dosis serap dan kontras [17].

II.4 Prinsip Kerja Mamografi

Prinsip kerja dari pesawat mamografi sama dengan prinsip kerja pesawat sinar-X biasa, yang membedakan adalah tegangan (kV) yang digunakan pada pesawat mamografi lebih rendah serta bahan anoda dan filternya menggunakan Mo/Rh yang berfungsi untuk menghasilkan sinar-x karakteristik. Dalam pemeriksaan mamografi, payudara pasien ditekan atau dikompresi hingga 50% sehingga hasil citra radiografi tampak lebih jelas dalam memperlihatkan

terbentuknya posisi mikrokalsifikasinya seperti yang ditampilkan pada gambar 2.1 [3]. Filter yang digunakan untuk mendapatkan kualitas berkas yang sesuai dengan keperluan adalah *molybdenum*. *Focal Spot* yang diperlukan untuk mendapatkan ketajaman gambarnya adalah yang memiliki ukuran fokusnya kecil. Grid berfungsi untuk mengurangi sinar hambur diantara obyek dan film, kaset dimasukkan pada tempat kaset yang berisi tunggal dengan kualitas tinggi dan berisi film beremulsi tunggal mengurangi paparan radiasi, sehingga citra yang dihasilkan bisa jelas dan lebih baik [13]. Diagram perangkat pesawat sinar-X mamografi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Diagram perangkat pesawat mamografi [3].

II.5 Half Value Layer (HVL)

Half Value Layer (HVL) adalah ketebalan filter yang diperlukan untuk menyerap radiasi supaya output berkurang menjadi setengah dari nilai awalnya. Penambahan filter akan membuat energi efektif pada berkas sinar-X meningkat, kemudian daya tembus dari sinar-X juga akan meningkat. Nilai HVL dari suatu bahan bisa dihitung berdasarkan nilai koefisien serap linear (μ) bahan (bisa dilihat pada persamaan 2.1) atau bisa juga berdasarkan hubungan antara hasil ketebalan dosis radiasi di bawah dan di atas setengah dosis mula-mula (bisa dilihat pada persamaan 2.2) [3]. Koefisien serap linear merupakan fraksi pelemahan dari suatu bahan yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$I_t = I_o e^{-\mu t} \quad \text{atau} \quad \mu = \frac{1}{t} \ln (I_o/I_t) \quad (2.1)$$

HVL ditentukan apabila nilai dari $I_t/I_0 = 1/2$ atau $I_0/I_t = 2$, sehingga persamaannya menjadi [18]:

$$HVL = \frac{0,693}{\mu} \quad (2.2)$$

Dalam pengukuran, cukup sulit untuk memperoleh nilai HVL secara langsung dengan ketebalan filter aluminium yang digunakan. Biasanya ketebalan yang digunakan akan menghasilkan nilai yang sedikit lebih besar atau lebih kecil dari nilai HVL. Maka dari itu, untuk menghitung nilai HVL secara mudah dan praktis tanpa perlu mengetahui nilai koefisien serap linear (μ) adalah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$HVL = \frac{t_b \ln(2D_a/D_0) - t_a \ln(2D_b/D_0)}{\ln(D_a/D_b)} \quad (2.3)$$

Dimana:

D_0 : dosis mula-mula (mGy)

t_a : tebal filter pada saat dosis terbaca lebih besar dari $D_0/2$ (mm)

t_b : tebal filter pada saat dosis terbaca lebih kecil dari $D_0/2$ (mm)

D_a : dosis terbaca yang nilainya sedikit lebih besar dari $D_0/2$ (mGy)

D_b : dosis terbaca yang nilainya sedikit lebih kecil dari $D_0/2$ (mGy) [19].

Batasan nilai HVL yang bisa diterima, merujuk pada batasan nilai yang ditentukan oleh BAPETEN pada tahun 2018, untuk setiap faktor tegangan tabung adalah:

- a. Batas minimum toleransi nilai HVL:

$$HVL = (0,01 \times kVp) + 0,03 \quad (2.4)$$

- b. Batas maksimum toleransi nilai HVL:

$$HVL = (0,01 \times kVp) + c \quad (2.5)$$

Sehingga batasan toleransi yang bisa diterima adalah:

$$0,01(kVp) + 0,03 \leq HVL \leq 0,01(kVp) + c \quad (2.6)$$

Nilai c dalam hal ini sebesar 0,12 untuk filter *Molybdenum* (Mo/Mo), 0,19 untuk filter *Molybdenum* dan *Rhodium* (Mo/Rh) dan 0,22 untuk filter *Rhodium* (Rh/Rh) [3]. Data selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 2.1**. Adapun nilai HVL yang dapat diterima untuk target filter Mo/Mo dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Bahan filter yang bisa digunakan pada pesawat mamografi adalah *molybdenum* (Mo), *rhodium* (Rh) dan *tungsten* (W) tergantung pada anoda yang digunakan. Untuk anoda dengan bahan Mo, maka bahan filter yang bisa digunakan adalah Mo atau Rh. Namun jika anoda terbuat dari Rh, maka bahan filter harus dikombinasikan dengan Rh [12].

Tabel 2.1 Nilai parameter C yang dipengaruhi oleh anoda/filter pada pesawat mamografi [20].

No.	Nilai C (mm)	Anoda/Filter
1.	0,12	Mo/Mo
2.	0,19	Mo/Rh
3.	0,22	Rh/Rh
4.	0,30	W/Rh
5.	0,32	W/Al

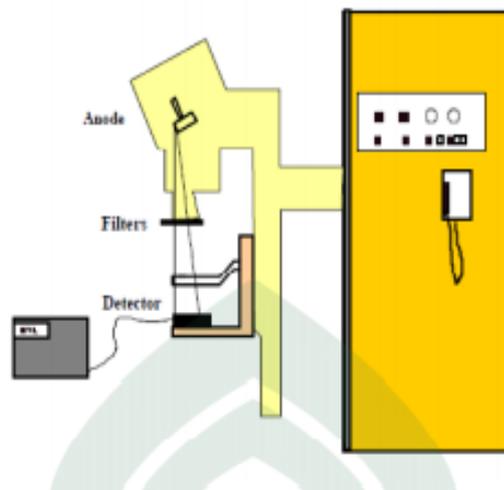
Tabel 2.2 Nilai HVL yang dapat diterima untuk target filter Mo/Mo

No.	Tegangan tabung (kV)	Batas Nilai HVL (mmAl)	
		Minimum	Maksimum
1.	25	0,28	0,37
2.	26	0,29	0,38
3.	27	0,30	0,39
4.	28	0,31	0,40
5.	29	0,32	0,41
6.	30	0,33	0,42
7.	31	0,34	0,43
8.	32	0,35	0,44
9.	33	0,36	0,45

II.6 Pengertian Kualitas Berkas

Kualitas berkas pesawat mamografi adalah keluaran yang biasa dinyatakan sebagai tegangan kerja pesawat. Kualitas berkas sinar-X dalam bidang medik

dengan tegangan tabung di bawah 400 kV dinyatakan dengan nilai tebal paro (HVL) pada energi yang digunakan. HVL (kualitas berkas sinar-X) digunakan untuk menentukan seberapa besar nilai dosis yang diterima oleh pasien. Hal-hal yang bisa mempengaruhi nilai HVL adalah yakni filter bawaan (*inherent*) maupun filter tambahan (*added filter*), tegangan tabung dari pesawat sinar-X dan frekuensi generator. Oleh sebab itu, sebelum pengukuran HVL, terlebih dahulu dilakukan uji konsistensi dan akurasi kV sehingga hasil dosis yang diperhitungkan akan lebih bagus dan akurat [14].



Gambar 2.2 Pengukuran HVL menggunakan penganalisaan sinar non invasif [13].

II.7 Kaleng Aluminium

Aluminium adalah salah satu logam yang mempunyai beberapa kelebihan diantaranya yaitu lebih ringan daripada baja, mudah dibentuk, tidak berasa, tidak berbau, tidak beracun, dapat menahan masuknya gas, memiliki konduktivitas panas yang baik dan dapat didaur ulang. Berdasarkan kelebihan tersebut, maka pemanfaatan bahan aluminium untuk beberapa sektor kesehatan dan industri juga semakin meningkat. Sehingga daur ulang aluminium bekas merupakan salah satu alternatif untuk menanggulangi kelangkaan bahan baku aluminium dan juga akan menghemat sumber daya alam yang ada [21].

II.8 Faktor Eksposi

Faktor eksposi merupakan faktor yang mempengaruhi dan menentukan kualitas dan kuantitas dari pancaran radiasi sinar-x yang dibutuhkan pada pembuatan gambar radiografi. Faktor eksposi terdiri dari tegangan tabung (kV), arus tabung (mA) dan waktu penyinaran (s). Hasil dari pengaturan faktor eksposi yang tepat yaitu kontras radiografi yang optimal yaitu mampu menampilkan derajat kehitaman yang jelas antar organ yang memiliki kerapatan yang berbeda. Selain itu, pemberian faktor eksposi yang tepat bisa mengurangi pancaran radiasi yang diserap dengan memperhatikan hasil visual dari kualitas citra radiografi [22].

II.9 *Automatic Exposure Control (AEC)*

Detektor kontrol eksposur otomatis (AEC) dalam mamografi biasanya terletak di bagian belakang reseptor gambar. *Automatic Exposure Control (AEC)* harus mampu mempertahankan kerapatan optik dengan $\pm 0,15$ OD karena tegangan tabung bervariasi dari 25 hingga 35 kVp dan ketebalan payudara juga bervariasi dari 2,5 hingga 8 cm untuk setiap teknik *grid*, *non-grid*, dan *magnification*. Rentang pilihan densitas harus tersedia dengan setiap peningkatan menambah atau mengurangi paparan atau eksposur layar film sebesar $\approx 15-20\%$. Selain itu, harus ada penyesuaian untuk memberikan imbalan yang tepat bagi kombinasi layar yang berbeda [23].

Perbedaan AEC pada mamografi analog dan mamografi digital yaitu pada mamografi analog AEC digunakan untuk memutuskan eksposi saat jumlah foton *X-ray* sudah mencapai sensor AEC sehingga citra yang dihasilkan optimal, karena hasil kontras ditentukan oleh karakteristik film. Sedangkan AEC pada mamografi digital digunakan untuk memperoleh citra yang cukup bagus dan berkualitas dan tingkat dosisnya terukur. Sensor yang digunakan dalam sistem analog terletak di bawah reseptor gambar dan harus diposisikan secara manual di bagian bawah payudara yang padat. Ketika sinyal yang ditentukan sebelumnya sudah terdeteksi oleh sensor, maka eksposur diakhiri. Untuk sistem digital, sensor dapat menjadi bagian dari reseptor gambar atau bisa juga sensor terpisah, di bawah reseptor gambar. Bahkan pada area aktif sensor lebih besar dapat mencakup seluruh bidang pencitraan [24].