

Skripsi

**ANALISIS LAJU DOSIS DENGAN VARIASI KETEBALAN UNTUK
MENENTUKAN NILAI DENSITAS BAHAN AKRILIK MENGGUNAKAN
PESAWAT SINAR-X *FLUOROSCOPY***

SITI NURUL HIKMA SYAWALIA

H021191034



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

2023

HALAMAN SAMPUL

**ANALISIS LAJU DOSIS DENGAN VARIASI KETEBALAN UNTUK
MENENTUKAN NILAI DENSITAS BAHAN AKRILIK MENGGUNAKAN
PESAWAT SINAR-X FLUOROSCOPY**

SKRIPSI

UNIVERSITAS HASANUDDIN

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

SITI NURUL HIKMA SYAWALIA

H021191034

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

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS LAJU DOSIS DENGAN VARIASI KETEBALAN UNTUK
MENENTUKAN NILAI DENSITAS BAHAN AKRILIK MENGGUNAKAN
PESAWAT SINAR-X *FLUOROSCOPY***

Disusun dan diajukan oleh:

SITI NURUL HIKMA SYAWALIA

H021191034

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 September 2023

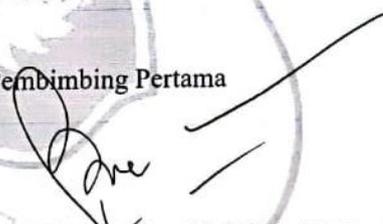
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama


Prof. Dr. Syamsir Dewang, MS
NIP. 196301111990021001


Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc
NIP. 195501051978021001

Ketua Program Studi


Prof. Dr. Arifin, M.T
NIP. 196705201994031002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : SITI NURUL HIKMA SYAWALIA
NIM : H021191034
Program Studi : Fisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

**ANALISIS LAJU DOSIS DENGAN VARIASI KETEBALAN UNTUK
MENENTUKAN NILAI DENSITAS BAHAN AKRILIK MENGGUNAKAN
PESAWAT SINAR-X *FLUOROSCOPY***

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, 11 Oktober 2023

Yang Menyatakan


SITI NURUL HIKMA SYAWALIA
H021191034

ABSTRAK

Penyakit tulang seringkali dialami oleh orang akibat gaya hidup yang kurang sehat, sehingga perlu diketahui nilai densitas tulang pada setiap pasien yang mengalami penyakit tulang seperti osteoporosis. Salah satu cara menentukan densitas tulang adalah menggunakan sinar-X dan pengukuran ini menggunakan peralatan yang memiliki biaya pemeriksaan mahal serta tidak semua rumah sakit memilikinya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membantu mengetahui kepadatan tulang dengan metode pengukuran untuk mempelajari nilai densitas suatu bahan menggunakan sinar-X fluoroscopy. Dalam penelitian ini, digunakan *phantom* akrilik dengan 4 variasi ketebalan yaitu 10cm, 15cm, 20cm, dan 25cm dan sinar-X *Fluoroscopy*. Dari hasil penelitian diperoleh nilai densitas *phantom* akrilik sebesar $0,1047 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Kata Kunci: Sinar-X, Densitas, *Phantom* akrilik, *Fluoroscopy*.

ABSTRACT

Bone diseases were often suffered by patient due to an unhealthy lifestyle, thus it is necessary to study the bone density for patient who suffered from human diseases such as osteoporosis. One way to determine bone density using X-rays, and this machine required equipment with expensive costs, and not all hospitals had such bone density devices. The purpose of the study was to aid in assessing bone density through a measurement method involving X-ray fluoroscopy and analyze the density values of materials. In this research, several acrylics as phantom with four thickness variations of 10cm, 15cm, 20cm, and 25cm, respectively, as well as a Fluoroscopy X-ray, were utilized. The research results yielded a bone density value of 0,1047 cm³/g for the acrylic phantom.

Keywords: *X-rays, Density, acrylic phantom, and Fluoroscopy.*

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Segala puji bagi Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*, karena dengan izin serta rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“ANALISIS LAJU DOSIS DENGAN VARIASI KETEBALAN UNTUK MENENTUKAN NILAI DENSITAS BAHAN AKRILIK MENGGUNAKAN PESAWAT SINAR-X *FLUOROSCOPY*”** yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin bisa dirampungkan. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'Alaihi Wasallam*, keluarga, dan sahabat sahabatnya yang senantiasa mencintai Rasulullah.

Penulis telah menjalani perjalanan yang cukup panjang untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini. Berbagai kendala telah dihadapi selama proses penyusunan, namun berkat kehendak-Nya, penulis berhasil menyelesaikan dengan baik. Penulis menyadari penulisan skripsi ini tidak mungkin terjadi tanpa dukungan do'a dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rendah hati penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tulus kepada:

1. **Prof. Dr. Syamsir Dewang, MS**, selaku dosen pembimbing utama dan **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng.Sc.**, selaku dosen pembimbing pertama yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis, memberikan saran serta arahan kepada penulis. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan, keselamatan serta selalu dalam lindungan-Nya.
2. **Dr. Sri Dewi Astuty, S.Si, M.Si dan Prof. Dr. Sri Suryani. DEA.**, selaku dosen penguji yang telah banyak memberi masukan kepada penulis demi menyempurnakan penulisan skripsi ini. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan, keselamatan serta selalu dalam lindungan-Nya.
3. **Bapak/Ibu Dosen pengajar** Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama perkuliahan. Semoga ini menjadi amal jariyah untuk Bapak/Ibu Dosen.

4. **Staf Departemen Fisika** yang telah membantu persuratan selama perkuliahan, semoga Allah membalas kebaikan Bapak/Ibu.
5. **Kedua Orang Tua** yang telah berjasa dalam hidup saya, Ibu Rosmini S,Pd dan Bapak Abdul Karim. Terima kasih telah mempercayakan saya untuk merantau, serta pengorbanan, cinta, do'a, motivasi, semangat dan nasihat serta kata-kata yang selalu dilontarkan "*Belajarki baik-baik nah nak, jangan mi pikir yang lain. Selesaikan mi saja dulu kuliah ta*" dan juga tanpa lelah mendukung segala keputusan dan pilihan hidup saya. Alhamdulillah saya bisa berada di tahap ini dan saya persembahkan tulisan ini untuk kalian. Semoga kalian sehat dan selalu dalam lindungan Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*.
6. **Adik-adik penulis**. Untuk **Puja** yang telah mengorbankan dirinya untuk cari kerja dan rela lambat masuk perguruan tinggi demi penulis, **Fifa** dan **Ratih** yang penulis sayangi dan selalu mendoakan penulis. Semoga kalian sehat dan selalu dalam lindungan Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*.
7. Kepada keluarga tercinta (**Kakek, Nenek, Om, Tante dan Sepupu**) yang selalu memberikan do'a, nasehat, semangat dan motivasi serta uang jajan kepada penulis. Semoga Allah membalas kebaikan kalian dan selalu diberikan kesehatan.
8. **Nur Amalia Rahmi**, Mahasiswa Haluoleo yang selalu mendukung saya dari kejauhan dan selalu mendengarkan keluh kesah penulis dari SMA sampai sekarang. Terimakasih untuk selalu merespon semua cerita penulis meskipun kadang tidak jelas. *I'm lucky to have you and i'm lucky to be your friend*. Semoga skripsinya juga dilancarkan dan selalu dalam lindungan Allah *Subhanahu Wa Ta'ala*.
9. **Sobat Deiteileul Geobuhaseyo** yang telah membersamai penulis dari awal masuk perkuliahan sampai sekarang. Untuk **Septia anak Pangkep yang bijak, Yuni anak Kupang yang comel, Sire anak mama ipa yang kuasai bumi dan Nabel anak Ampana selaku anak pertama yang sangat jago mengatur keuangan dei**. Terima kasih atas semua perhatian yang selalu diberikan untuk penulis, dan secara langsung membantu penulis

mengerjakan skripsi. Semoga Allah melancarkan proses kalian sampai pakai toga dan ini tidak menjadi akhir dari pertemanan kita.

10. **Sobat KKN Lanne**, yang telah memberi warna baru di kehidupan kampus penulis. **Kadir, Kordes tamvan, Ibe Gamon, Ega Bades, Icaantik, Risnachan, Sheerin Timika dan Wulandari**, khususnya **six little monkey** yang telah memberikan dukungan dan menemani penulis merevisi penelitian ini
11. **Sobat B19bang: Agung, Yusri, Alya, Fara, Asira, Eni, Ghalib, Rinan, Lela** dan yang tidak sempat saya sebut namanya. Terima kasih atas semua cerita dari maba, panitia, pengurus, steering, sampai menjadi kanda warga. Semoga kalian yang belum sarjana dilancarkan sampai wisuda, yang sudah wisuda segera mendapatkan pekerjaan, yang sudah mendapatkan pekerjaan segera mendapatkan jodohnya.
12. **Sobat Kiw-Kiw: Kanda Mul, Ibe, Aris, Adzan, dan Anas**, yang sudah membantu dan menghibur penulis. Semoga silaturahmi kita tetap terjalin.
13. Kepada semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan doa, semangat, serta dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik, doa yang tulus Insya Allah akan kembali kepada kalian. Semoga selalu diberikan kesuksesan di dunia dan akhirat, serta diberikan kesehatan dan senantiasa dalam lindungan Allah, di mana pun kalian berada.
14. *Last but not least*, terima kasih kepada diri sendiri atas kerja keras dan semangatnya meskipun kita hampir menyerah dalam menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih sudah mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan dan tetap menyelesaikan skripsi ini. *I'm so proud of you.*

Akhir kata, penulis memiliki harapan besar bahwa skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada semua pembacanya. Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, hal ini disebabkan oleh terbatasnya pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis sangat

mengharapkan adanya saran dan kritikan yang membangun dari berbagai pihak, semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala senantiasa memberikan perlindungan kepada kita semua.

Makassar, 11 Oktober 2023



Siti Nurul Hikma Syawalia

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	2
HALAMAN PENGESAHAN.....	3
PERNYATAAN KEASLIAN.....	4
ABSTRAK	5
ABSTRACT.....	6
KATA PENGANTAR	7
DAFTAR ISI.....	11
DAFTAR GAMBAR	12
DAFTAR TABEL.....	13
I.1 Latar Belakang.....	14
I.2 Rumusan Masalah.....	15
I.3 Tujuan Penelitian	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	16
II.1 Sinar-X	16
II.2 Intensitas Sinar-X	18
II.3 Pengukuran Laju Dosis	20
II.4 <i>Fluoroscopy</i>	22
II.4 <i>Phantom</i>	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	25
III.2 Alat dan Bahan.....	25
III.2.1 Alat.....	25
III.2.2 Bahan.....	25
III.3 Tahap Penelitian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
BAB V PENUTUP.....	31
V.1 Kesimpulan.....	31
V.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar II.1 Tabung sinar-X	17
Gambar II.2 (a) Sinar-X Bremsstrahlung	18
(b) Sinar-X Karakteristik	18
Gambar II.3 Hubungan hasil kali koefisien serapan massa dengan ketebalan dan $\ln\left(\frac{I_0}{I_x}\right)$ pada bahan akrilik berbentuk <i>stepwadge</i>	20
Gambar II.4 Bagan sistem fluoroskopi	24
Gambar II.5 Berkas sinar-X melewati layar pendar	25
Gambar II.6 <i>Phantom</i> akrilik	26
Gambar III.1 Bagan Alir Penelitian	29
Gambar IV.1 Grafik nilai rata-rata laju dosis	31
Gambar IV.2 Hubungan hasil kali koefisien serapan massa dengan ketebalan dan $\ln\left(\frac{D_0}{D_x}\right)$ pada phantom akrilik	32

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 4.1 Nilai rata-rata laju dosis	30
Tabel 4.2 Hasil perhitungan densitas bahan	31
Tabel 4.3 Hasil pengukuran densitas bahan secara langsung	33

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhem Conrad Roentgen pada tahun 1895. Penggunaan sinar-X untuk keperluan medis diawali ketika dia mendapati gambar tangan istrinya yang dihasilkan dari sinar-X. Berkat penemuan Roentgen, dunia medis mengalami perkembangan yang begitu pesat. Manfaat penggunaan sinar-X dalam dunia medis adalah untuk mendiagnosis berbagai penyakit dalam tubuh manusia. Salah satunya pemanfaatan sinar-X yaitu pada pesawat *Fluoroscopy* [1,2].

Pesawat *Fluoroscopy* merupakan pesawat radiodiagnostik yang pada awalnya dilakukan dengan modalitas radiografi yang cenderung bersifat analog, seiring perkembangan zaman, teknologinya menjadi lebih praktis. *Fluoroscopy* dapat melakukan pemeriksaan secara langsung (*real time*) dengan resolusi tinggi. Sistem *Fluoroscopy* pada saat ini juga dilengkapi pula dengan kamera TV modern yang mempunyai kualitas super dan resolusi tinggi. Dengan *frame rate pulsed Fluoroscopy* yang variabel, dosis pasien dapat dikurangi dengan memperoleh citra yang lebih baik dibanding dengan *Fluoroscopy* tahun 70 – 80 an [2].

Penggunaan sinar-X pada bidang kesehatan salah satunya yaitu pengukuran densitas (kepadatan tulang). Gangguan kepadatan tulang seperti osteoporosis, saat ini merupakan masalah kesehatan masyarakat utama yang dihadapi oleh jutaan orang diseluruh dunia. Menurut WHO, ada sekitar 200 juta orang menderita osteoporosis di seluruh dunia [3]. Di Indonesia, berdasarkan data Puslitbang Gizi Depkes RI tahun 2020, pada tahun 2019, masalah osteoporosis telah mencapai tingkat yang perlu diwaspadai yaitu 19,7 persen [4]. Pencegahan osteoporosis melalui pengukuran densitas tulang menjadi suatu langkah yang sangat diperlukan. Pengukuran ini menggunakan *Dual energy x-ray absorptiometry* (DEXA). Namun, tidak semua rumah sakit memiliki peralatan ini, serta biaya pemeriksaannya cukup mahal. Oleh karena itu, untuk membantu mengetahui kepadatan tulang diperlukan metode pengukuran untuk mempelajari nilai densitas dari suatu bahan [3].

Penentuan nilai densitas dari bahan dengan menggunakan ekspos radiasi, mempertimbangkan jumlah radiasi yang diterima oleh objek. Penggunaan obyek manusia dalam penelitian menjadi berbahaya dikarenakan eksposi sinar-X kepada obyek secara berulang akan menimbulkan efek somatik dan atau efek genetik. Berdasarkan kondisi

tersebut, diperlukan obyek pengganti berupa *phantom* akrilik sebagai pengganti objek manusia [14,15].

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengukur densitas bahan menggunakan radiografi digital. Densitas secara umum merupakan pengukuran massa jenis bahan yakni besarnya massa per volume benda. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran densitas secara optik menggunakan sumber sinar-X, pengukuran densitas secara umum dilakukan melalui pengukuran intensitas awal serta laju dosis awal. Selanjutnya pengukuran laju dosis yang terserap oleh bahan, setelah itu mengukur intensitas dan atau laju dosis bahan yang menembus atau cahaya transmisi di ukur pada berbagai ketebalan lapisan *phantom* akrilik. Dengan mengetahui nilai densitas bahan, maka metode dapat dikembangkan untuk pengukuran nilai densitas termasuk nilai densitas tulang [3].

Sebelumnya, Wiguna dan rekan-rekannya telah melakukan penelitian ini pada tahun 2019 yang membandingkan densitas *phantom* bahan akrilik (*polymethyl methacrylate*) dan *phantom* plastik (*acrylonitrile butadiene styrene*), berbentuk *step wadge* menggunakan pesawat konvensional. Penelitian ini mengadopsi pendekatan yang berbeda dengan menggunakan *phantom* akrilik yang berbentuk persegi dan menggunakan pesawat *Fluoroscopy* [3].

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perubahan laju dosis yang diterima detektor dari beberapa ketebalan *phantom*?
2. Bagaimana nilai densitas *phantom* akrilik dari pengukuran laju dosis terhadap variasi ketebalan?
3. Bagaimana perbandingan hasil nilai densitas dari analisis kurva dengan densitas akrilik dari pengukuran langsung?

I.3 Tujuan Penelitian

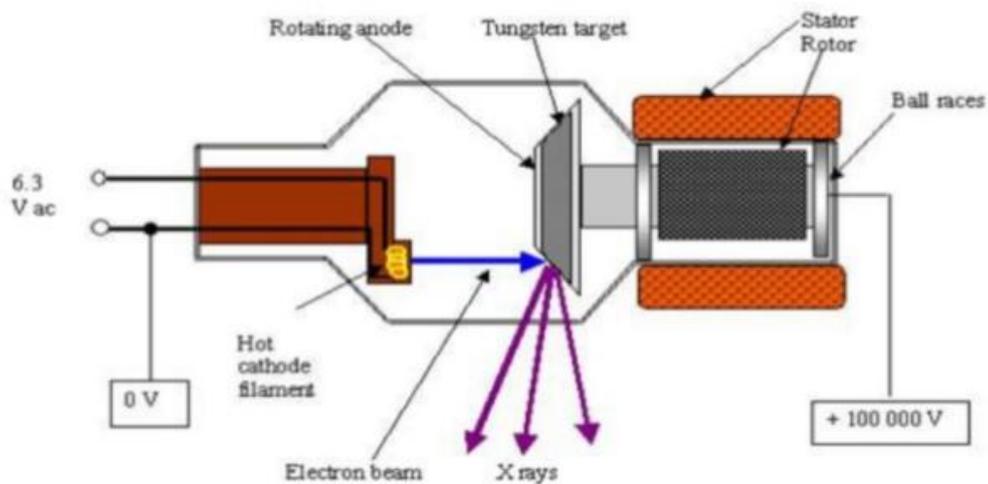
Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengukur perubahan laju dosis yang diterima detektor dari beberapa ketebalan *phantom*.
2. Menentukan nilai densitas *phantom* akrilik dari pengukuran laju dosis terhadap variasi ketebalan.
3. Membandingkan hasil nilai densitas dari analisis kurva dengan densitas akrilik dari pengukuran langsung.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

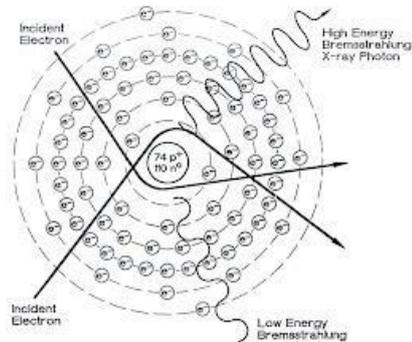
II.1 Sinar-X

Sinar yang sejenis radiasi yang berasal dari sebuah tabung muatan (*discharge tube*), dikenal sebagai sinar-X. Tabung ini mengandung gas dengan tekanan yang sangat rendah, sekitar 0,01 Torr. Elektroda di dalam tabung tersebut dialiri listrik dengan tegangan tinggi, menciptakan sinar elektron pada katoda. Sinar elektron ini dihasilkan melalui pemanasan filamen pada suhu lebih dari 2000°C, sehingga filamen ini membentuk awan elektron. Elektron-elektron ini menumbuk anoda dan menghasilkan sinar-X sekitar 1% sedangkan sisanya 99% berubah menjadi energi panas [4,5].



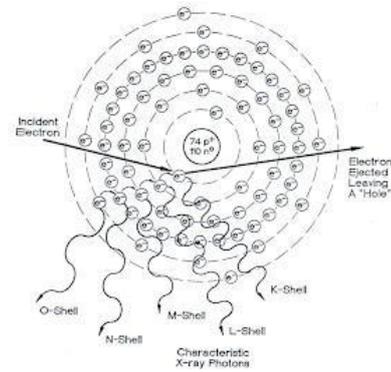
Gambar II.1 Tabung sinar-X

Sinar-X dapat pula terbentuk melalui proses perpindahan elektron atom dari tingkat energi yang lebih tinggi menuju ke tingkat yang lebih rendah. Adanya tingkat-tingkat energi dalam atom dapat digunakan untuk menerangkan terjadinya spectrum sinar-X dari suatu atom. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini mempunyai energi sama dengan selisih energi antara kedua tingkat energi elektron tersebut. Karena setiap jenis atom memiliki tingkat-tingkat energi elektron yang berbeda-beda, maka sinar-X yang terbentuk dari proses ini disebut sinar-X karakteristik [6].



Gambar II.2 (a)

Sinar-X Bremsstrahlung



Gambar II.2 (b)

Sinar-X Karakteristik

Sinar-X Bremsstrahlung terjadi ketika elektron penyektil dengan energi kinetik berinteraksi dengan medan energi pada inti atom. Proses Bremsstrahlung akan menghasilkan radiasi dengan spectrum kontinyu yang memiliki frekuensi atau gelombang yang bergantung pada tegangan akselerasi. Sedangkan sinar-X karakteristik terjadi ketika elektron proyektil dengan energi kinetik yang tinggi berinteraksi dengan elektron dari tiap kulit atom pada anoda.

Adapun karakter dari sinar-X dapat dijelaskan sebagai berikut [1]:

- a. Memiliki daya tembus terhadap suatu bahan

Sinar-X dapat menembus bahan atau massa yang padat dengan daya tembus yang sangat besar seperti tulang dan gigi. Daya tembus suatu bahan dipengaruhi oleh tegangan tabung yakni semakin tinggi tegangan tabung (besarnya kV) yang digunakan maka semakin besar daya tembusnya. Selanjutnya, memiliki energi yang tinggi karena mempunyai panjang gelombang yang pendek.

- b. Terjadi radiasi hamburan

Sinar-X melalui suatu bahan atau suatu zat akan menyebabkan berkas sinar tersebut akan bertebaran keseluruhan arah yang menimbulkan radiasi sekunder (radiasi hambur) pada bahan atau zat yang dilalui. Timah hitam (pb) yang tipis diletakkan di antara objek untuk mengurangi akibat radiasi hambur .

- c. Terjadi penyerapan pada suatu bahan yang dilaluinya

Sinar-X dalam radiografi diserap oleh bahan atau zat sesuai dengan berat atom atau kepadatan bahan tersebut. Semakin tinggi kepadatannya atau berat atomnya maka semakin besar penyerapannya.

- d. Dapat menghitamkan plat potret (film)

Sinar-X dapat menghitamkan emulsi film (emulsi perak-bromida) setelah melalui proses secara kimiawi di kamar gelap radiologi.

e. Dapat menyebabkan fluoresensi

Sinar-X dapat mengakibatkan bahan-bahan seperti kalsium Tungsten atau Zink Sulfida yang dapat mengalami pemendaran cahaya (luminisensi) yang merupakan suatu peristiwa terpancarnya cahaya dari sebuah bahan yang sebelumnya terkena radiasi dan dapat dimanfaatkan dalam bidang radiologi seperti menambah respon fotografik pada film yang terdiri dari 2 jenis yaitu fluoresensi (pemendaran cahaya ketika terdapat radiasi sinar-X) dan fosforisensi (pemendaran cahaya yang terjadi untuk beberapa saat meskipun sumber radiasi sinar-X telah dalam keadaan off.

f. Dapat menimbulkan ionisasi

Efek primer dari sinar-X jika mengenai suatu bahan atau zat dapat menimbulkan ionisasi.

g. Efek biologis

Sinar-X akan menimbulkan perubahan-perubahan biologis pada jaringan yang digunakan pada pengobatan radioterapi.

II.2 Intensitas Sinar-X

Ketika sinar-X mengenai suatu bahan, maka sinar-X akan berinteraksi dengan bahan tersebut. Proses interaksi ini menyebabkan hilangnya sebagian intensitas sinar-X besarnya intensitas radiasi terusan menurun secara eksponensial terhadap ketebalan bahan. Sinar-X dengan intensitas awal I_0 akan berkurang menjadi I_x setelah menembus bahan setebal x . Intensitasnya akan berubah sesuai persamaan Lambert-Beer

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.1)$$

dengan μ adalah koefisien atenuasi linear.

Bila diasumsikan bahwa bahan bersifat homogen dan koefisien atenuasi linier bernilai konstan, maka persamaan (1) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\ln \left(\frac{I_0}{I_x} \right) = \mu x \quad (2.2)$$

Nilai μ merupakan gradien garis dari persamaan (2). Yang dapat diperoleh dengan melakukan fitting dari hubungan $\ln(I_0/I_x)$ dengan ketebalan (x).

Koefisien atenuasi massa atau koefisien serapan massa didefinisikan sebagai koefisien serapan pada suatu ketebalan 1 gram bahan dengan luas permukaan 1 cm^2 . Satuan dari koefisien atenuasi massa yaitu g/cm^2 . Koefisien atenuasi massa dapat dihitung secara tidak langsung melalui penurunan persamaan berikut:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.3)$$

$$\ln \left(\frac{I_0}{I_x} \right) = \mu_m x \rho \quad (2.4)$$

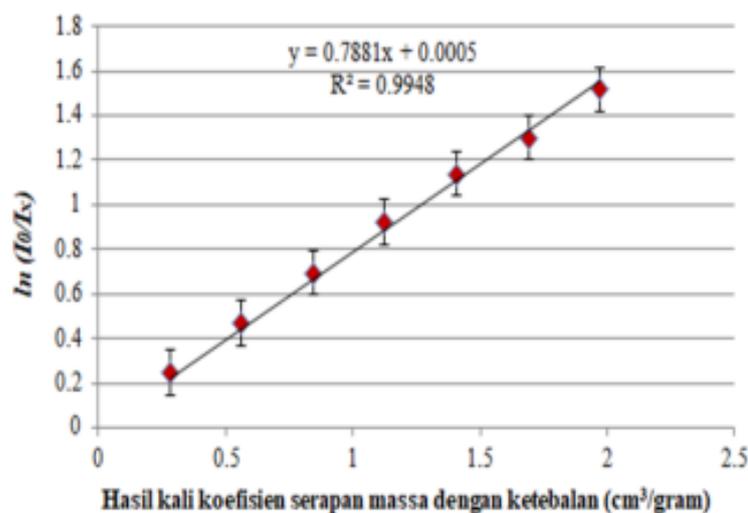
Berdasarkan persamaan (6) dapat ditunjukkan bahwa koefisien atenuasi massa adalah $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$. Dengan melakukan *plotting* grafik antara $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ sebagai sumbu y dan $[\mu_m \cdot x]$ sebagai sumbu x maka diperoleh densitas (ρ) bahan [7].

Wiguna dkk, melakukan penelitian dengan hasil pengukuran nilai intensitas dari *phantom* akrilik berbentuk *stepwadge*. Hasil pengukuran nilai intensitas dari bahan ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pengukuran intensitas bahan

Nomor Undak	Ketebalan (mm)	Nilai rata-rata Akrilik
1	3	143
2	6	123
3	9	99
4	12	79
5	15	64
6	18	54
7	21	43

Nilai $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ dapat dihitung dengan cara mengukur nilai I_0 (intensitas sinar-X sebelum melewati bahan) dan I_x (intensitas sinar-X sesudah melewati bahan). Data hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel Mengacu pada persamaan (6), maka densitas dapat diperoleh dari nilai gradien garis antara $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ dan $x\mu_m$. $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ sebagai sumbu y dan $x\mu_m$ sebagai sumbu x. Grafik hubungan antara antara $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ dan $x\mu_m$ pada bahan akrilik dan plastik masing-masing ditampilkan pada Gambar II.2.



Gambar II.3 Hubungan hasil kali koefisien serapan massa dengan ketebalan dan $\ln(\frac{I_0}{I_x})$ pada bahan akrilik berbentuk *stepwadge*

Penentuan nilai densitas diperoleh melalui kurva penentuan nilai tangensial sesuai Gambar II.3. Dengan demikian, berdasarkan kurva tersebut dapat diperoleh nilai densitas sebesar 0,7881.

II.3 Pengukuran Laju Dosis

Sinar-X merupakan foton berenergi tinggi yang terjadi karena proses perlambatan elektron. Mempunyai sifat dapat menembus bahan dan dapat memberikan dosis yang signifikan ke organ internal. Paparan radiasi ke pasien dapat diukur dari *Dose Area Product* (DAP) dan *Entrance Skin Dose* (ESD) [8].

Dosis radiasi yang diterima oleh bahan adalah suatu besaran deterministik yang diaplikasikan untuk radiasi pengion tidak langsung dan langsung. Bahaya radiasi melibatkan efek deterministik dan stokastik serta menimbulkan potensial resiko bagi pekerja. Efek deterministik bergantung pada besarnya dosis radiasi, sedangkan efek stokastik dapat dihasilkan dari paparan dan tidak ada dosis minimum diluar radiasi pengion yang dapat disebut aman [3,8].

Dosis radiasi yang diterima oleh seseorang dalam menjalankan suatu kegiatan tidak boleh melebihi batas dosis yang telah ditetapkan oleh instansi yang berwenang. Dengan menggunakan program proteksi radiasi yang disusun secara baik, maka semua kegiatan yang mengandung resiko paparan radiasi cukup tinggi dapat ditangani sedemikian rupa sehingga nilai batas dosis yang telah ditetapkan tidak akan terlampaui. Adapun dosis tipikal yang diterima oleh pasien *fluoroscopy* tidak boleh melebihi 15 mGy/menit dan dosis maksimum di udara tidak boleh melebihi 150 mGy/menit. Organisasi internasional yang menangani batas dosis ini adalah *Internasional Commission on Radiological Protection* (ICRP) [1].

Agar dosis radiasi yang dipancarkan dari tabung pesawat sinar-X sesuai dengan standar dosis untuk setiap jenis pemeriksaan radiografi maupun fluoroskopi, maka persyaratan teknik pesawat sinar-X harus dipatuhi. Adapun persyaratan teknik pesawat sinar-X yang terkait, antara lain meliputi [9]:

1. spesifikasi radiografi dan fluoroskopi;
2. teknik keselamatan operasional; dan
3. teknik proteksi pasien.

Semakin besar jarak dari sumber radiasi, laju dosis di tempat tersebut semakin berkurang. Hubungan besar laju dosis untuk sumber titik terhadap jarak dari sumber dirumuskan oleh persamaan berikut:

$$\dot{D} = \frac{k}{r^2} \quad (2.5)$$

dengan

\dot{D} : laju dosis serap

r : jarak dari sumber

k : konstanta

Dalam mengatasi penerimaan dosis radiasi dalam pekerjaan, harus diusahakan berada pada waktu yang sesingkat-singkatnya. Apabila tidak diperlukan, maka jangan berada dekat sumber radiasi. Dosis radiasi yang diterima pada waktu t dapat dihitung dengan rumus [10].

$$\dot{D} = \frac{D}{t} \quad (2.6)$$

atau

$$D = \dot{D} \times t \quad (2.7)$$

dimana

\dot{D} : laju dosis, dalam satuan Sv/s

D : dosis total, dalam satuan Sv/s

t : waktu penyinaran, dalam satuan s

Pada dasarnya intensitas radiasi yang terukur adalah laju dosis, dimana dosis yang diterima *persecond* pada detektor penerima. Penentuan nilai densitas dapat dihitung melalui perhitungan laju dosis, dimana nilai densitas diperoleh dari kurva laju dosis terhadap ketebalan bahan seperti pada persamaan (2.6). Maka nilai densitas dapat ditulis seperti berikut.

$$\ln\left(\frac{\dot{D}_0}{\dot{D}_x}\right) = \mu_m x \rho \quad (2.8)$$

Sehingga nilai densitas (ρ) diperoleh dari data pengukuran nilai intensitas dan atau laju dosis pada setiap ketebalan lapisan yang ditentukan melalui perhitungan kurva tangensial dari linearitas pada kurva laju dosis terhadap ketebalan bahan.

Penerimaan dosis radiasi pada setiap paparan, maka harus diusahakan pada jarak aman. Sehingga laju dosis terhadap jarak sumber harus diatur. Persamaan yang secara matematika dapat ditulis dalam:

$$\dot{D}_1 \cdot r_1^2 = \dot{D}_2 \cdot r_2^2 \quad (2.9)$$

dimana:

\dot{D}_1 : laju dosis pada jarak r_1 , dalam satuan Sv/s

\dot{D}_2 : laju dosis pada jarak r_2 , dalam satuan Sv/s

r : dalam satuan meter

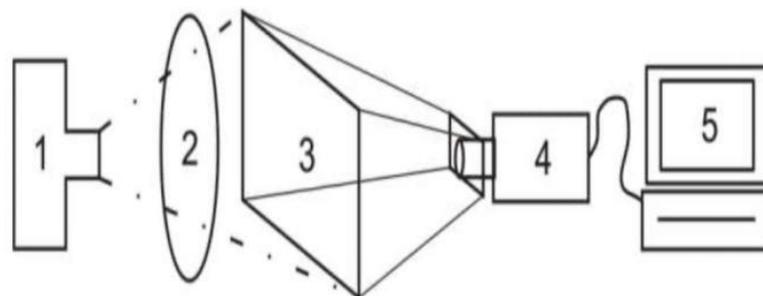
Pada pengujian laju dosis terdiri dari dua jenis pengukuran, yaitu laju dosis pasien tipikal dan laju dosis serap pada image intensifier (II). Pada pengujian laju dosis pasien tipikal, detektor diletakkan diatas 20 cm *phantom polymethyl methacrylate* (PMMA) sebagai pengganti jaringan tubuh manusia. Sedangkan pada pengujian laju dosis serap pada *Image Intensifier*, detektor diletakkan tepat diatas *image intensifier* dan pada tabung kolimator ditempelkan tembaga (2 mmCu) [3].

Laju dosis dapat dikurangi dengan memasang penahan radiasi diantara sumber radiasi dengan pekerja radiasi. Dengan cara ini maka pekerja radiasi dapat bekerja pada jarak yang tidak terlalu jauh dari sumber radiasi dengan dosis yang tidak melebihi batas yang di tetapkan. Tebal dan jenis bahan penahan yang diperlukan bergantung pada jenis dan energi radiasi, aktivitas sumber, dan laju dosis yang diinginkan setelah radiasi menembus penahan [10].

II.4 Fluoroscopy

Fluoroscopy merupakan pencitraan sinar-X *real time* untuk melihat bagian dalam tubuh pasien dengan resolusi tinggi. Sistem *Fluoroscopy modern* menggunakan *Image Intensifier* (II), yang ukurannya meningkat dengan adanya kemajuan teknologi. Pada mulanya ukuran diameter *Image Intensifier* 15 cm (6 inch), dan saat ini dapat ditemui *Image Intensifier* 40 cm (16 inch). Sistem *Fluoroscopy* pada saat ini dilengkapi pula dengan kamera TV modern yang mempunyai kualitas super dan resolusi tinggi. Dengan *frame rate pulsed Fluoroscopy* yang variable, dosis pasien dapat dikurangi dengan memperoleh citra yang lebih baik dibanding dengan *Fluoroscopy* tahun 70 – 80 an [11].

Layar *Fluoroscopy* yang memanfaatkan teknik pencitraan sinar-X sebagai sumber cahaya dan sebuah bidang yang terbuat dari fluor disebut sebagai *fluorescent screen*. Layar fluor akan berpendar saat ditumbuk oleh foton sinar-X. Tingkat kecerahan perpendaran bergantung pada banyaknya foton yang menumbuk bidang layar fluor. Hasil perpendaran fluor akan ditangkap oleh kamera video dan akan ditampilkan pada layar monitor. Bagan sistem fluoroskopi ditunjukkan oleh Gambar II.4 [12].

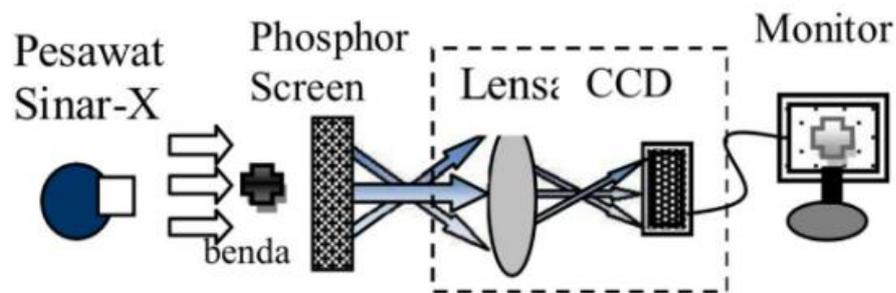


Gambar II.4 Bagan sistem fluoroskopi, (1) Sumber Sinar-X, (2) Pasien/Obyek, (3) *Fluorescent Screen*, (4) Kamera video, (5) Komputer.

Prinsip kerja *fluoroscopy* didasarkan pada penggunaan sinar-X yang dikirimkan melalui tubuh dan kemudian diubah menjadi gambar bergerak secara real-time. Sinar-X yang melewati tubuh akan diabsorpsi oleh jaringan lunak dengan berbagai tingkat kepadatan, sehingga memungkinkan pembentukan gambar kontras yang memvisualisasikan organ internal dan struktur. Adapun prinsip pembentukan citra pada pesawat sinar-X *fluoroscopy* yang direkayasa adalah sebagai berikut [13,18]:

1. Sebagian energi paparan radiasi sinar-X diserap oleh objek radiografi dan sebagian sisa energinya akan terus menjalar sesuai dengan lintasan berkas sinar-X.
2. Berkas sinar-X yang menjalar tersebut akan terdistribusi sesuai dengan karakteristik distribusi massa penyerap. Berkas energi ini dapat divisualisasikan dengan layar pendar
3. Selanjutnya setelah dirubah menjadi citra optik pada layar pendar, berkas akan ditangkap oleh kamera. Hasil dari kamera berkas akan dikonversikan dari signal optik menjadi signal analog, kemudian dari signal analog menjadi signal digital.
4. Signal digital akan ditransfer ke komputer lalu diolah menggunakan perangkat lunak pengolahan citra, sehingga akan diperoleh informasi kondisi obyek yang dicitrakan.

Gambar II.5 menunjukkan jalannya berkas sinar-X menuju ke layar pendar yang terbuat dari phosphor.



Gambar II.5 Berkas sinar-X melewati layar pendar

Fluoroscopy menghasilkan citra langsung dan kontinyu yang berguna khususnya untuk memandu suatu prosedur, melihat bagian dalam tubuh, atau meneliti fungsi dinamik tubuh pasien. Pengujian *fluoroscopy* dimulai tidak lama setelah penemuan sinar-X, dahulu reseptor digunakan adalah suatu layar fluorosensi yang menangkap berkas sinar-X setelah mengenai tubuh pasien. Berkas sinar-X diserap oleh bahan fluorosensi kemudian diubah menjadi cahaya tampak. Dengan adanya reseptor layar fluoresensi tersebut, maka prosedur ini dinamakan "*fluoroscopy*" [1].

II.4 Phantom

Phantom merupakan suatu bentuk permodelan dari objek manusia yang digunakan dalam bidang radiologi, baik radiodiagnostik maupun radioterapi untuk evaluasi kualitas gambar radiograf secara realistis[1].

Fungsi *phantom* sebagai alat peraga yaitu merupakan media pembelajaran yang berisi ciri-ciri dari konsep dan kompetensi yang dipelajari. Sedangkan fungsi *phantom* sebagai alat uji peralatan khususnya radiologi sebagai alat bantu dalam mengukur kelayakan alat radiologi tertentu. Pemanfaatan *phantom* lainnya pada penelitian sebelumnya yaitu sebagai media dalam pengukuran dosis radiasi khususnya Brakiterapi. Rancangan *phantom* dibuat dari tujuh lapis plat flexiglass tebal 10 mm dengan ukuran lebar 105 mm dan panjang 280 mm. *Phantom* dapat digunakan untuk membuat isodosis sistem[16].

Pemanfaatan *phantom* lainnya sebagai alat pengujikelayakan peralatan radiologi pada penelitian pencitraan Thorax dengan menggunakan Magnetic Resonance Imaging (MRI). Berdasarkan manfaat penggunaan *Phantom* yang banyak digunakan yaitu *phantom* yang terbuat dari akrilik, karena mempunyai rapat massa yang hampir sama dengan kerapatan air, yakni $0,994 \text{ gr/cm}^3$, hal ini dilakukan karena manusia terdiri dari 75% molekul air. Untuk keperluan pengukuran foton maupun elektron, air dipakai sebagai *phantom* standar ekuivalen jaringan, karena mempunyai kemampuan menyerap foton hampir sama dengan jaringan basah. Sedangkan untuk menjaga keamanan alat ukur yang digunakan seperti dosimeter TLD, maka selain *phantom* cair juga dibuat *phantom* padat yang dimodifikasi sehingga kedap air[1,16,17].



Gambar II.6 *Phantom* akrilik