

PENGARUH KETEBALAN FILTER TERHADAP KONTRAS CITRA RADIOGRAFI PADA PENYINARAN BETATRON SEA 7

Daffa Azhar Zakiyah, Totok Dermawan, Ismail*

Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia – Badan Riset dan Inovasi Nasional

*Corresponding author: isma012@brin.go.id

ABSTRAK

Radiasi hambur menyebabkan citra radiografi memiliki kontras yang rendah. Kontras radiografi merupakan pengurangan dari densitas maksimum dan minimum dari citra radiografi. Citra radiografi dengan kontras yang rendah tidak dapat menampilkan area yang sangat terang dan sangat gelap dengan jelas. Alhasil citra radiografi tidak dapat dilihat atau dibaca dengan jelas. Agar citra radiografi dapat dibaca dengan jelas, perlu adanya suatu tindakan untuk meningkatkan kontras radiografi salah satunya dengan melakukan pengendalian terhadap radiasi hambur. Radiasi hambur tidak diinginkan dalam radiografi karena menyebabkan penurunan kontras radiografi yang membuat citra radiografi tidak terlihat jelas. Dengan memperkecil radiasi hambur maka kontras radiografi akan semakin tinggi. Salah satu tindakan untuk mengurangi potensi radiasi hambur adalah dengan menggunakan filter. Filter radiografi berfungsi untuk menyerap radiasi dari yang berenergi rendah dan merupakan suatu radiasi hambur. Pada penelitian ini digunakan filter berbahan Aluminium (Al), Stainless Steel (SS), dan Timbal (Pb) dengan variasi ketebalan masing-masing 3 mm, 6 mm, dan 9 mm. Benda uji yang digunakan adalah plat baja dengan ketebalan 25 mm yang diradiografi menggunakan Betatron SEA 7 pada energi 6 MeV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa filter Pb dengan ketebalan 9 mm memiliki kemampuan penyerapan radiasi tertinggi hingga mencapai grey value sebesar 22118 dan filter material SS ketebalan 3 mm menghasilkan kontras radiografi paling baik (tertinggi) yaitu sebesar 13581. Penyerapan radiasi semakin besar apabila menggunakan filter dengan material bernomor atom besar. Pb memiliki nomor atom terbesar dari material lain pada penelitian ini sehingga menghasilkan densitas citra radiografi yang paling minimum.

Kata kunci: Filter, kontras, citra radiografi, betatron.

PENDAHULUAN

Tujuan utama dalam melakukan radiografi adalah menghasilkan citra dengan kualitas terbaik yang dapat dibaca dengan mudah dan memenuhi standar yang diacu. Kualitas citra radiografi meliputi densitas, kontras, distorsi, dan ketajaman. Oleh karena itu, diperlukan suatu tindakan untuk menekan faktor – faktor yang dapat menurunkan kualitas citra radiografi (Ningtias *et al.*, 2016). Kontras radiografi merupakan pengurangan dari densitas maksimum dan minimum dari citra radiografi (Boddy, 2013). Kontras radiografi yang tinggi akan menampilkan area dengan warna yang sangat gelap dan terang dengan jelas pada citra. Kontras radiografi yang terus menurun menyebabkan tingkat kehitaman yang merata. Alhasil citra radiografi tidak dapat dibaca dengan mudah. Salah satu faktor yang menyebabkan kontras radiografi menurun adalah radiasi hambur.

Radiasi hambur merupakan sebagian radiasi yang arahnya menyimpang dari radiasi primer (Rini, 2014). Radiasi hambur berasal dari radiasi primer itu sendiri namun energinya mengalami penurunan. Panjang gelombang radiasi hambur lebih besar daripada radiasi primer sehingga menyebabkan intensitas sinar – X menurun (Boddy, 2013). Intensitas sinar – X yang menurun menyebabkan kontras radiografi juga ikut menurun. Agar citra radiografi meningkat maka perlu adanya suatu tindakan untuk mengurangi radiasi hambur yang salah satunya menggunakan filter. Filter radiografi merupakan suatu material yang digunakan untuk menyerap berkas sinar – X secara selektif yang sebagian besar adalah radiasi berenergi rendah yang tidak lain adalah radiasi hambur. Filter yang semakin tebal menyebabkan banyak energi sinar – X yang terserap, sehingga intensitas sinar – X semakin menurun (Wahyanti *et al.*, 2018). Akan tetapi penggunaan filter menyebabkan kecenderungan peningkatan kontras radiografi alhasil juga meningkatkan kualitas citra radiografi (Pramesti, 2018).

Dengan adanya penelitian ini, maka akan didapatkan pembahasan kesimpulan dari pengaruh filter terhadap kontras radiografi dengan variabel ketebalan dan material filter.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, Yogyakarta pada Mei hingga Juli 2023. Penelitian menggunakan material Stainless Steel (SS), Aluminium (Al), dan Timbal (Pb) sebagai filter radiografi dengan ketebalan masing – masing 3 mm, 6 mm, dan 9 mm. Material yang disinari berupa plat baja dengan ketebalan 25 mm. Penyinaran menggunakan Betatron SEA 7 dengan energi radiasi sebesar 6 MeV dan arus sebesar 1 A yang kemudian pemrosesan film menggunakan CRx Vision. Jarak antara titik fokus Betatron dan material sebesar 1000 mm. Perlu diketahui bahwa Betatron termasuk pengembangan bentuk sinar – X dimana partikelnya memiliki gerakan melingkar untuk mempercepat elektron sehingga kecepatan elektron Betatron sangat tinggi (Kerst, 1940). Betatron mampu mempercepat elektron hingga kurang lebih 20 MeV (Nisa *et al.*, 2016). Dalam bidang radiografi industri, mesin betatron 7 MeV sudah

dapat digunakan untuk penyinaran material metal dengan ketebalan hingga 300 mm (Soembogo, 2018).

Digunakan CR (*Computed Radiography*) untuk memproses citra radiografi karena kualitas citra radiografi yang dimiliki IP lebih baik dalam menghasilkan citra dibandingkan film radiografi konvensional. IP juga dapat digunakan berkali – kali dibanding film radiografi konvensional yang hanya dapat digunakan sekali pakai. Citra digital yang dihasilkan oleh IP ditampilkan dalam bentuk matrik (kolom dan baris) dimana satu elemen dari matrik disebut *picture element* (pixel) yang menunjukkan nilai keabuan (*grey level*) dari elemen citra tersebut (Yusnida dan Suryono, 2014). Imaging Plate (IP) yang digunakan adalah IPC2 atau film cepat. *Software* yang digunakan untuk *scanning* dan membaca citra adalah Rhythm RT dan Rhythm Reviewer. Secara penggunaan perbedaan CR dengan film radiografi konvensional terletak pada cara pemrosesan atau pengolahan citra film (Darwis, 2019). CR tidak perlu menggunakan kamar gelap dan cairan kimia untuk mencuci film radiografi. Citra dalam bentuk *softcopy* yang dihasilkan CR juga dapat juga dapat dimagnifikasi, dibalik, maupun diputar (Ballinger & Eugene, 2013).

Penelitian mengacu pada standar ASME V Article 2 yang didalamnya juga mengatur tentang densitas radiografi menggunakan sinar – X. Densitas transmisi film pada bayangan radiografi dari daerah pemeriksaan harus minimal 1.8 untuk pengamatan film tunggal untuk radiograf yang dibuat dengan sumber sinar-X dan minimal 2 untuk radiograf yang dibuat dengan sumber sinar gamma. Densitas maksimal harus 4.0 untuk pengamatan tunggal maupun pengamatan gabungan. Toleransi densitas 0.05 diizinkan untuk bacaan densitometer yang berubah-ubah (THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEER, 2013). Menurut standar ISO 17636 – 2. *Grey value* CR setara dengan nilai densitas film optik pada radiografi konvensional (Pusat Standarisasi dan Mutu Nuklir, 2015). CRx Vision memiliki kedalaman gambar 16 bit, sehingga *grey value* nya memiliki rentang nilai 0 – 64000 (General Electric Company 2014). Jika melihat dari standar ASME section V article 2 tentang densitas minimal untuk sinar – X, maka *grey value* CRx Vision yang memenuhi sebesar 28800 untuk densitas minimal dan 64000 untuk densitas maksimal (Audita, 2021).

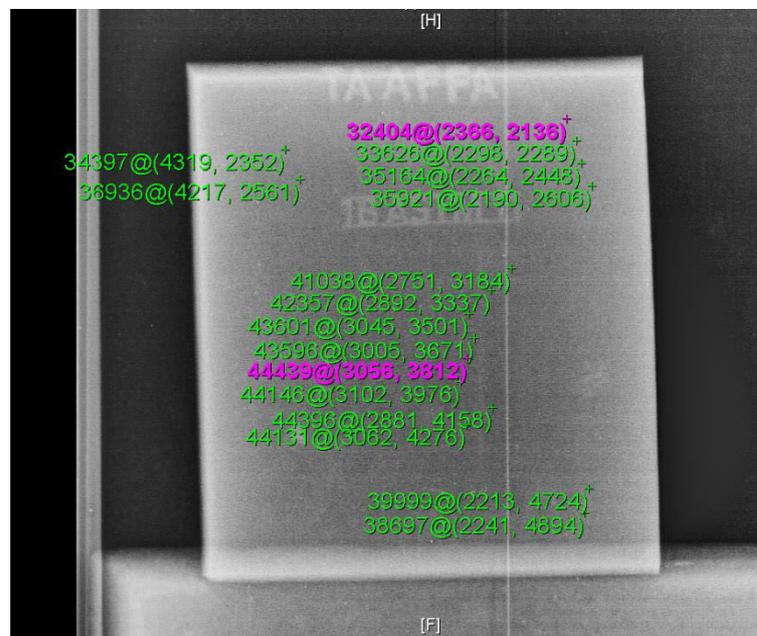
Penelitian dimulai dari studi literatur berupa pencarian sumber – sumber literatur seperti skripsi, buku, artikel ilmiah, jurnal, dan lain sebagainya. Dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan serta penentuan dosis penyinaran. Dosis penyinaran diatur hingga hasil citra radiografi berada pada rentang densitas atau *grey value* 28800 – 64000 sesuai standar ISO 17636 – 2. Setelah beberapa kali percobaan tanpa filter ditentukan besar dosis yang diterima sebesar 32 R. Kemudian dilakukan penyinaran satu persatu dari material Al hingga Pb. Setiap penyinaran dilakukan satu kali proses pengulangan sehingga terdapat dua citra pada setiap variabel. Setelah proses penyinaran dilanjutkan *scanning*. Kemudian dilakukan pembacaan citra radiografi. Proses penyinaran dan *scanning* terus dilakukan hingga seluruh variabel filter terpenuhi. Selanjutnya adalah pengumpulan dan analisis data. Analisis data dilakukan dengan mencari *grey value* maksimum dan minimum dari citra radiografi. Citra dengan *grey value* 28000 – 64000 merupakan citra yang diterima dan sesuai standar. Citra radiografi yang diterima akan dihitung kontrasnya dan akan ditemukan kontras radiografi yang paling tinggi. Apabila kontras radiografi tertinggi telah didapatkan, maka dilanjutkan dengan tahap pelaporan dan penulisan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian mengenai pengaruh ketebalan filter terhadap kontras radiografi dilaksanakan di Laboratorium Non Destructive Test Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, Yogyakarta. Penelitian dimulai dari diskusi bersama dan mencari studi literatur terkait dari berbagai sumber penelitian. Kemudian dilanjutkan dengan pencarian dan pengumpulan alat dan bahan penelitian. Selanjutnya dilakukan *trial and error* peralatan penelitian. Posisi filter radiografi berada di antara material penyinaran dan IP. Sebelum pengambilan data, dilakukan beberapa kali penyinaran untuk mendapatkan dosis penyinaran yang menghasilkan citra dengan *grey value* pada rentang 28800 – 64000 sesuai standar ISO 17636 – 2 tanpa filter, hasilnya dosis radiasi yang didapatkan yaitu 32 R.

Setelah dosis radiasi yang memenuhi didapat, segera dilakukan proses penyinaran dan pengambilan data. Penyinaran pertama dilakukan tanpa filter yang selanjutnya dengan tambahan filter. Setelah proses penyinaran selesai, dilanjutkan

dengan proses *scanning* menggunakan CRx Vision. Sebelum *scanning* hal yang harus dilakukan yaitu mengeluarkan IP dari kaset radiografi kemudian memasukkannya ke dalam CR. Kemudian memulai *scanning* dengan menekan menu “scan” pada *software* Rhytm RT yang sebelumnya sudah dihubungkan dengan komputer. Apabila IP sudah keluar dari ujung CR dan indikator CR berwarna kuning, artinya proses *scanning* selesai dan citra dapat disimpan untuk dilakukan analisis. Analisis citra berupa pencarian densitas(*grey value*) maksimum dan minimum pada citra guna memenuhi kontras radiografi. Analisis menggunakan *software* Rhytm Review. Tampilan pencarian *grey value* maksimum dan minimum dalam Rhytm Review dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan *grey value* pada *software* Rhytm Review (warna ungu *grey value* maksimum dan minimum)

Setelah *grey value* maksimum dan minimum ditemukan, tahap selanjutnya adalah perhitungan kontras radiografi yaitu dengan menghitung selisih *grey value* maksimum dan minimum. Perhitungan kontras menggunakan *software* Microsoft Excel. Hasil dari penelitian ini terdiri dari hasil observasi dan pengukuran kontras radiografi pada citra dengan tambahan filter Al, SS, dan Pb dengan ketebalan masing – masing 3 mm, 6 mm, dan 9 mm pada penyinaran material plat baja ketebalan 25 mm. Pada Tabel 1 akan ditampilkan hasil penyinaran pada material dengan tanpa filter dan tambahan filter Al.

Tabel 1. Penyinaran dengan tanpa filter dan tambahan filter Al

Penyinaran ke -	Tebal Filter (mm)	Dmax	Dmin	Kontras	Rata - rata kontras	Keterangan
1	No filter	44273	32938	11335	10571	diterima
2	No filter	39743	29936	9807		diterima
3	3	41231	29432	11799	11365	diterima
4	3	40363	29432	10931		diterima
5	6	42768	32645	10123	10309	diterima
6	6	39631	29136	10495		diterima
7	9	40935	32222	37713	9600	diterima
8	9	43912	33425	10487		diterima

Citra radiografi dari penyinaran tanpa filter dan dengan tambahan filter Al menunjukkan rentang densitas yang dapat diterima sesuai standar ISO 17636 – 2. Kontras tertinggi ditunjukkan pada citra dengan penyinaran menggunakan tambahan filter Al ketebalan 3 mm yaitu dengan nilai rata – rata kontras radiografi sebesar 11365. Sedangkan kontras terendah ditunjukkan pada citra dengan penyinaran menggunakan tambahan filter Al ketebalan 9 mm yaitu dengan nilai rata – rata kontras radiografi sebesar 9600. Dengan rata – rata nilai kontras tertinggi sebesar 11365 dan terendah sebesar 9600 menunjukkan bahwa ketebalan filter mempengaruhi kontras dari citra radiografi. Kontras radiografi mengalami penurunan seiring bertambahnya ketebalan filter Al. Selanjutnya terdapat hasil penyinaran dengan tambahan filter SS yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penyinaran dengan tambahan filter SS

Penyinaran ke -	Tebal Filter (mm)	Dmax	Dmin	Kontras	Rata - rata kontras	Keterangan
1	3	55389	43507	11882	13581	diterima
2	3	56823	41543	15280		diterima
3	6	50313	39919	10394	10980	diterima
4	6	50466	38900	11566		diterima
5	9	4525	34355	10899	9486	diterima

6	9	4 4790 3	39830	8073	diterima
---	---	----------------	-------	------	----------

Citra radiografi dari penyinaran dengan tambahan filter SS menunjukkan rentang densitas yang dapat diterima sesuai standar ISO 17636 – 2. Kontras tertinggi ditunjukkan pada citra dengan penyinaran menggunakan tambahan filter SS ketebalan 3 mm yaitu dengan nilai rata – rata kontras radiografi sebesar 13581. Sedangkan kontras terendah ditunjukkan pada citra dengan penyinaran menggunakan tambahan filter SS ketebalan 9 mm yaitu dengan nilai rata – rata kontras radiografi sebesar 9486. Dengan rata – rata nilai kontras tertinggi sebesar 13581 dan terendah sebesar 9486 menunjukkan bahwa ketebalan filter mempengaruhi kontras dari citra radiografi. Kontras radiografi mengalami penurunan seiring bertambahnya ketebalan filter SS. Selanjutnya terdapat hasil penyinaran dengan tambahan filter Pb yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Penyinaran dengan tambahan filter Pb

Penyinaran ke -	Tebal Filter (mm)	Dmax	Dmin	Kontras	Rata - rata kontras	Keterangan
1	3	43112	30752	12360	12888.55	diterima
2	3	44171	30754	13417		diterima
3	6	37248	28512	8736	10549	diterima
4	6	40395	28033	2362		diterima
5	9	33110	22118	4992	9925.5	ditolak
6	9	31728	22869	8859		ditolak

Dari data yang ditampilkan di atas, terlihat bahwa densitas dari penyinaran ke – 1 hingga ke – 4 diterima sedangkan penyinaran ke – 5 dan ke – 6 tidak diterima sesuai standar ISO 17636 – 2. Hal tersebut karena densitas minimum citra radiografi sebesar 22118 dan 22869 pada penyinaran ke – 5 dan ke – 6 berada di bawah 28000, yang artinya tidak dapat diterima. Kontras tertinggi ditunjukkan pada citra dengan penyinaran menggunakan tambahan filter Pb ketebalan 3 mm yaitu dengan nilai rata – rata kontras radiografi sebesar 12888,5. Adapun kontras terendah ditunjukkan pada citra dengan penyinaran menggunakan tambahan filter Pb ketebalan 6 mm yaitu dengan nilai rata – rata kontras radiografi sebesar 5549. Dengan rata – rata nilai kontras tertinggi sebesar 12888,5 dan

terendah sebesar 5549 menunjukkan bahwa ketebalan filter mempengaruhi kontras dari citra radiografi.

Dari ketiga filter radiografi yang digunakan, filter SS dengan ketebalan 3 mm memiliki hasil pengurangan *grey value* maksimum dan minimum tertinggi, artinya kontras radiografi tertinggi dimiliki oleh filter SS ketebalan 3 mm, dilanjutkan dengan filter Pb ketebalan 3 mm, dan filter Al 3 mm. Hal tersebut dikarenakan daya penyerapan filter radiografi berbeda – beda dari setiap materialnya, material dengan massa jenis yang besar memiliki molekul yang lebih mudah berinteraksi dengan sinar – X sehingga sinar – X yang diserap semakin besar (Pardede & Setiawati, 2014). Pb memiliki massa jenis yang lebih besar dibanding SS dan Al dimana massa jenis Pb, SS, dan Al masing – masing sebesar 11.34 g/cm^3 , 8.00 g/cm^3 , dan 2.7 g/cm^3 (Rahma, 2016).

Jika dilihat dari segi teori, seharusnya Pb mempunyai nilai kontras lebih tinggi dibanding SS dan Al karena nomor atom dan massa jenis Pb lebih besar daripada SS dan Al. Namun dalam penelitian ini SS 3 mm memiliki kontras lebih tinggi dibanding Pb 3 mm dengan selisih kontrasnya 693,5. Sama halnya dengan kontras radiografi pada filter SS dan Pb dengan ketebalan 6 mm, SS 6 mm memiliki kontras lebih tinggi dibanding Pb 6 mm dengan selisih kontrasnya 431. Dalam penelitian Setiyawan et al disebutkan bahwa SS dapat digunakan sebagai penahan radiasi dengan menyetarakan ketebalannya dengan Pb (Setiyawan *et al.*, 2015). Terbukti dari data penelitian di penggunaan filter SS dan Pb memiliki rentang kontras yang hampir sama. SS juga dapat digunakan untuk menggantikan Pb karena pertimbangan sifat toksisitas Pb yang tinggi jika terserap dalam tubuh (Kessel & O'Connor, 1997). Selain itu SS juga cukup banyak di Indonesia dan lebih ekonomis (Setiyawan *et al.*, 2015). Selain itu Pb lebih sering digunakan sebagai campuran bahan dalam kombinasi filter radiografi dengan Al dan tidak digunakan sebagai filter tunggal (Tobing, 2019).

Filter Al memiliki nilai kontras radiografi yang lebih rendah dibandingkan filter SS dan Pb. Hal tersebut dapat disebabkan nomor atom dan massa jenis Al lebih kecil daripada Pb dan SS. Walau begitu penggunaan filter Al tetap berpengaruh dalam kontras radiografi. Al lebih sering digunakan untuk filtrasi penyinaran dengan energi yang lebih rendah dibanding tembaga (Ratnasari, 2018).

Jika dibandingkan dengan tembaga (Cu) nomor atom dan massa jenis Al juga lebih kecil. Dengan begitu, terdapat kemungkinan jika Al akan menghasilkan kontras yang lebih tinggi jika digunakan pada energi yang lebih rendah dibandingkan energi yang dihasilkan Betatron. Al juga menghasilkan filtrasi dengan lebih baik apabila dikombinasikan dengan material SS dan Zn (Pardede & Setiawati, 2014).

SIMPULAN

Dari pembahasan mengenai pengaruh ketebalan filter terhadap kontras radiografi dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Filter radiografi merupakan suatu material yang digunakan untuk menyerap berkas sinar – X secara selektif yang sebagian besar adalah radiasi berenergi rendah yang disebut juga dengan radiasi hambur
2. Penggunaan filter tambahan dalam radiografi memiliki pengaruh dalam peningkatan kontras pada citra yang dihasilkan.
3. Dengan rata – rata nilai kontras tertinggi dan terendah berubah lebih besar atau lebih kecil dari nilai kontras tanpa filter ataupun dengan filter yang ketebalannya berbeda, menunjukkan bahwa ketebalan filter mempengaruhi kontras dari citra radiografi.
4. Perubahan nilai kontras radiografi juga dipengaruhi oleh jenis material filter yang digunakan. Hal tersebut dibuktikan dengan data di atas, walau ketebalan filter sama tetapi material filter berbeda hasil citra menunjukkan nilai kontras yang berbeda.
5. filter SS dengan ketebalan 3 mm memiliki hasil pengurangan *grey value* maksimum dan minimum tertinggi, artinya kontras radiografi tertinggi dimiliki oleh filter SS ketebalan 3 mm, dilanjutkan dengan filter Pb ketebalan 3 mm, dan filter Al 3 mm.

UCAPAN PENGHARGAAN

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak, penelitian ini tidak akan terselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih

dan penghargaan disampaikan kepada segala pihak yang mendukung penelitian ini baik secara pemikiran, fisik, finansial, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- D. R. Ningtias, S. Suryono, & Susilo. (2016). Pengukuran Kualitas Citra Digital Computed Radiography Menggunakan Program Pengolah Citra. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 161-168.
- Boddy, M. S. (2013). *Pengaruh Radiasi Hambur terhadap Kontras Radiografi Akibat Variasi Ketebalan Obyek dan Luas Lapangan Penyinaran*. Makassar: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
- Rini, A. (2014). Analisis Sebaran Radiasi Hambur di Sekitar Pesawat Sinar-X Pada Pemeriksaan Tomografi Ginjal. *Jurnal Ilmiah GIGA*, 17(2), 63 – 69.
- Pramesti, Y. (2018). *Pengaruh Ketebalan Filter Tambahan terhadap Indeks Eksposi dan Kontras Radiografi Komputer Radiografi*. Jakarta: Teknik Radiodiagnostik Dan Radioterapi Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan.
- Kerst, D. (1940). Acceleration of Electrons by Magnetic Induction. *Phys Rev* 58, 841.
- Nisa, F., Supriyanti, & Yuliani. (2016). Betatron.
- Soembogo, D. (2018). Penentuan Nilai Tebal Paro Penahan Radiasi Betatron 7 MeV. *Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, 215-220.
- Yusnida, A. M., & Suryono. (2014). Uji Image Uniformity Perangkat Computed Radiography dengan Metode Pengolahan Citra Digital. *Youngster Physics Journal*, 251-256.
- Darwis, R. (2019). *Pembuatan Kurva Waktu Penyinaran Computed Radiography CRx Vision untuk Film Sedang dan Cepat dengan Spesimen Baja*. Yogyakarta: STTN - BATAN.
- Ballinger, & Eugene, D. (2013). *Eugene DF. Merrill's Atlas of Radiographic Position and Radiologic Prosedurs, 10th Edition*. Saint Loui: Mosby.
- The American Society Of Mechanical Engineer, S. V. (2013). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*.
- Pusat Standarisasi dan Mutu Nuklir. (2015). RSNI 2 ISO 17636-2.
- General Electric Company. (2014). *Computed Radiography Scanner*.
- Audita, Y. I. (2021). *Pembuatan Kurva Waktu Penyinaran Betatron SEA 7 dengan Computed Radiography CRx Vision Pada Spesimen Baja*. Yogyakarta: Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia.

- Pardede, D. M., & Setiawati, E. (2014). Perhitungan Nilai Dosis dan Kontras Computed Radiography (CR) dengan Variasi Ketebalan dan Kombinasi Jenis Filter. *Youngster Physics Journal*, 287-294.
- Rahma, I. N. (2016). Kajian dan Analisa Pelat Timbal (Pb) Bekas Tutup Instalasi Listrik pada Atap Rumah sebagai Bahan Proteksi Radiasi Sinar - X. Semarang: Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
- Setiyawan, I., Sutanto, H., & Firdausi, K. S. (2015). Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan pada Besi, Tembaga, dan Stainless Steel sebagai Bahan Perisai Radiasi. *Youngster Physics Journal*, 219-224.
- Kessel, I., & O'Connor, J. (1997). *Getting The Lead Out : The Complete Resource on How to Prevent and Cope with Lead Poisoning*. New York: Plenum Trade.
- Tobing, Y. R. (2019). *Profil Sebaran Radiasi Sinar-X di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang*. Semarang: Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
- Ratnasari, N. G. (2018). *Optimasi Filter Sinar - X untuk Aplikasi Radiasi pada Radiografi Digital di Laboratorium Fisika Medik UNNES*. Semarang: Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.