



Uji serapan radiasi bahan timbal limbah aki untuk pemanfaatan bahan perisai radiasi

Dian Nuramdiani, Putri Khansa Sabena Fadilatunnisa, Lola Elvira, M Hilman Mubarak

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi 9.0)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

23 September 2023

Abstract

The development of the automotive industry has the potential to increase the quantity of lead waste generated from damaged batteries. One way to reduce the adverse impact of lead waste that has persistent and toxic properties is to utilize lead plates in radiation shielding materials. Radiation shielding is one of the important tools in enforcing radiation protection for workers and the general public in hospital radiology installations. The purpose of this research is to test the value of the lead absorption coefficient from used batteries as an initial step in testing the feasibility of materials in the development of radiation shielding. Material uptake testing was conducted through X-ray exposure on slabs made from battery lead powder and resin with thickness variations of 2,5mm-15mm thickness variations. The exposure factor was set at a voltage of 80kV/32mAs with a collimation aperture of 10 cm x 10 cm. Based on the study, the average value of the attenuation coefficient of the used battery lead material was 0,3367/mm. This absorption value indicates that Lead derived from waste batteries can be used as an alternative to making radiation shields with consideration of the ability to absorb radiation, but the equivalence of attenuation with Pb to be used as an Apron in accordance with Bapeten provisions is still equivalent to 3.876mm.

Keywords: Used Batteries · Attenuation · Lead · Radiation · X-Ray

PENDAHULUAN

Proteksi radiasi merupakan hal yang wajib diperhatikan oleh instalasi nuklir dan unit radiologi sebagai upaya untuk melindungi para pekerja radiasi dan masyarakat. Tiga strategi dasar yang dapat diterapkan dalam upaya penegakan proteksi radiasi adalah mengurangi waktu berada di sekitar sumber radiasi, menjaga jarak dari sumber radiasi, dan menggunakan perisai radiasi (Setiyawan, Sutanto, & Firdausi, 2015). Salah satu bentuk perisai radiasi yang sering digunakan oleh para pekerja radiasi adalah lead apron (Celemek Timbal). Apron yang digunakan sekurang-kurangnya memiliki ketebalan setara 0,25 mmPb untuk penggunaan pesawat sinar X radiologi diagnostik, dan 0,35 mmPb atau 0,5 mmPb untuk pesawat sinar X radiologi intervensional (Bapeten, 2020).

Daya serap apron terhadap radiasi, menunjukkan fungsinya sebagai pelindung terhadap radiasi sinar-X. Perawatan apron yang tidak diperhatikan menyebabkan patahan internal. Kerusakan ini dapat mengurangi fungsi apron sebagai pelindung radiasi, karena dapat terjadi kebocoran saat apron digunakan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa patahan dan

✉ Dian Nuramdiani
nuramdianidian@gmail.com

Politeknik AI Islam Bandung. Bandung, Indonesia.

How to Cite: Nuramdiani, D., Fadilatunnisa, PKS., Elvira, L., & Mubarak, MH. (2023). Uji Serapan Radiasi Bahan Timbal Limbah Aki Untuk Pemanfaatan Bahan Perisai. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 2(1), 290-296. <http://proceedings.upi.edu/index.php/sinafi>

kebocoran apron terjadi karena peletakan apron yang sembarangan, terjatuh, terlipat, terdapat jahitan, dan usia pakai yang sudah lama (Sugiarti, Junaidi, & Jatmiko, 2021). Meskipun pengujian kelayakan, pemeliharaan, serta penggantian apron seharusnya dilakukan secara berkala dan terprogram, terkadang kerusakan apron baru diketahui sesaat sebelum apron tersebut digunakan, sehingga pekerja tidak dapat menghindari penerimaan paparan radiasi yang disebabkan ketidakterediaan apron cadangan ataupun alternatif tambalan sementara.

Prinsip perisai radiasi adalah mengurangi fluks radiasi dibalik perisai. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis daya serap radiasi bahan selain timbal (Pb) terhadap sinar X (Yucel, Gulluoglu, Cubukcu, & Uncu, 2016), dan inovasi teknologi apron sintetis (Abidin, Alkrytania, & Indrajati, 2015). Namun belum dapat mengatasi masalah paparan radiasi yang diterima pekerja saat apron yang digunakan mengalami kebocoran dan harus digunakan saat itu juga. Masalah ketebalan bahan, kemudahan dalam memperoleh bahan, dan biaya produksi menjadi pertimbangan dalam pembuatan perisai radiasi.

Di lain sisi, saat ini perkembangan industri otomotif meningkat tajam. Hal ini juga mempengaruhi perkembangan industri komponen pendukung seperti industri aki yang memiliki komponen utamanya berupa Timbal (Pb) sebagai komponen pencatu daya pada kendaraan bermotor. Dengan semakin meningkatnya industri aki maka potensi untuk menghasilkan limbah timbal pun meningkat.

Timbal memiliki sifat tahan panas, tidak mudah korosi, dan mudah dibentuk (Raj & Das, 2023). Namun sebagai golongan logam berat, timbal memiliki sifat toksikan yang unik (WHO, 2017). Tidak ada organisme yang fungsinya bergantung pada timbal (Said, Lubis, & Suherman, 2014). Raharjo, dkk (2018) menyebutkan bahwa timbal mempunyai sifat persisten dan toksik serta dapat terakumulasi dalam rantai makanan. Absorpsi timbal di dalam tubuh sangat lambat, sehingga saat terjadi akumulasi dapat menjadi dasar keracunan yang progresif. Keracunan timbal ini menyebabkan kadar timbal yang tinggi dalam aorta, hati, ginjal, pankreas, paru-paru, tulang, limpa, testis, jantung dan otak (Raharjo, Raharjo, & Setiani, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai koefisien serapan radiasi bahan timbal dari limbah aki. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya pengurangan pencemaran lingkungan melalui pemanfaatan plat timbal dari aki yang sudah tidak dapat digunakan kembali. Penentuan nilai koefisien serapan radiasi ini merupakan langkah awal untuk menguji kelayakan bahan timbal limbah aki sebagai dasar untuk pengembangan pembuatan perisai radiasi khususnya apron. Sehingga diharapkan mampu menjadi salah satu alternatif solusi untuk penegakkan proteksi radiasi bagi pekerja dalam mengatasi kebocoran apron dan dapat menjadi pilihan yang baik, karena dapat memenuhi ketersediaan timbal dengan proses produksi yang lebih mudah, biaya yang relatif murah, serta dapat mereduksi pencemaran lingkungan.

METODE PENELITIAN

Metoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Pengujian daya serapan bahan dilakukan melalui eksposi sinar-X terhadap *plat* yang dibuat dengan bahan dasar serbuk timbal yang berasal dari limbah aki dicampur dengan resin bening. Plat yang diuji dibuat dengan berbagai variasi ketebalan yakni 2,5mm, 5mm, 7,5 mm, 10mm, 11,25mm, dan 15mm.

Pembuatan plat timbal diawali dengan pemisahan komponen timbal dari limbah aki yang selanjutnya dikeringkan dan ditumbuk untuk menghasilkan serbuk yang lebih halus. Untuk memperoleh ukuran serbuk yang relatif homogen dilakukan penyaringan terhadap serbuk yang

dihasilkan. Selanjutnya serbuk timbal tersebut dicampurkan dengan resin bening untuk dicetak kembali dengan ketebalan berbeda. Pembuatan plat dengan ketebalan berbeda dimaksudkan untuk mempermudah penentuan koefisien serapan radiasi saat kondisi intensitas radiasi yang berinteraksi dengan bahan diatur konstan.

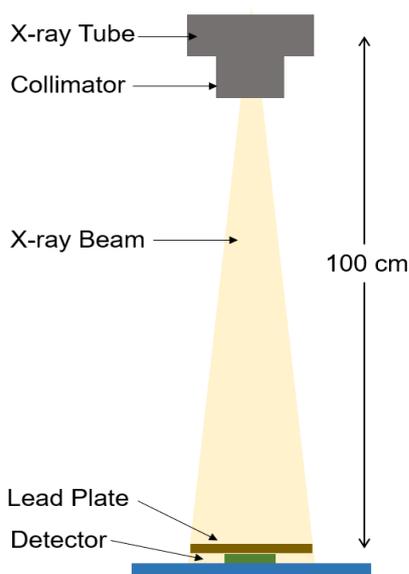
Eksposi dilakukan dengan menggunakan pesawat sinar X yang merupakan sinar roentgen di Laboratorium Radiologi Politeknik Al Islam Bandung. Pengaturan faktor eksposi dilakukan terhadap tegangan potensial dan arus tabung dengan kondisi 80kV dan 32 mAs, serta jarak fokus-objek 100 cm dan bukaan kolimasi diatur sebesar 10 cm x 10 cm.

Selanjutnya penentuan koefisien serapan radiasi pada plat timbal dihitung berdasarkan intensitas radiasi yang melewati berbagai ketebalan plat. Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (1) berikut.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad \dots(1)$$

dengan I = intensitas radiasi yang diteruskan, I_0 = intensitas radiasi yang datang, μ = koefisien serap linier bahan pada energi tertentu, dan x = tebal plat.

Intensitas radiasi yang melewati plat diukur dengan menggunakan detektor yang dipasang dibawah plat. Saat eksposi dilakukan, pusat sinar ditempatkan tepat ditengah-tengah plat dan dilakukan berulang untuk seluruh ketebalan. Adapun skema pengukuran intensitas radiasi yang melewati plat ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah.



Gambar 1. Skema Pengukuran Intensitas Radiasi Sinar X

Selain penentuan koefisien serapan radiasi dari plat timbal, dihitung pula kesetaraan ketebalan plat dengan ketebalan Pb yang digunakan dalam apron sesuai dengan Peraturan BAPETEN no.4 thn 2020, yakni Apron harus memiliki ketebalan yang setara dengan 0,25mm Pb (timah hitam) untuk Radiologi Diagnostik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

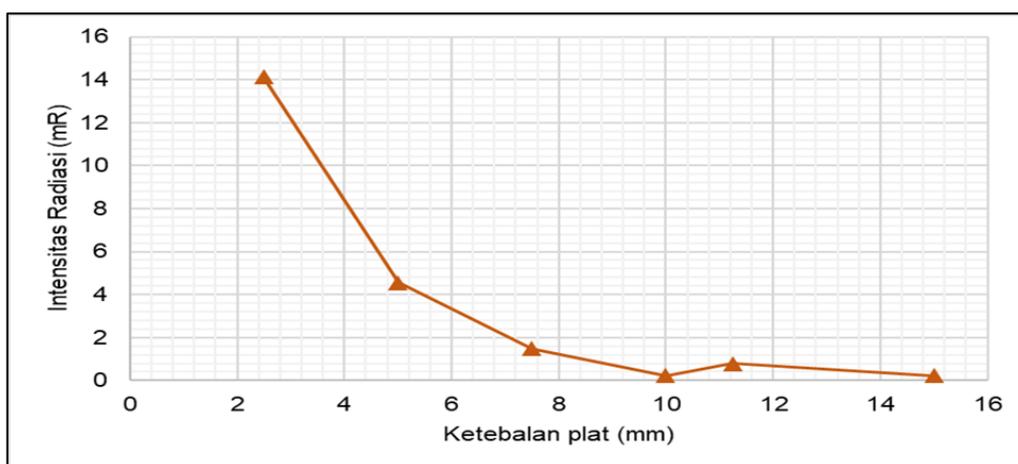
Eksposi dilakukan untuk mengetahui daya serapan radiasi plat timbal limbah aki melalui besarnya intensitas radiasi yang datang dan intensitas radiasi yang diteruskan. Dengan mengatur faktor eksposi yang tetap yakni 80kV/32mAs, intensitas radiasi yang datang (awal) diukur tanpa memasang plat di atas detector sehingga nilai intensitas radiasi untuk setiap

ketebalan plat bernilai sama. Adapun intensitas radiasi yang diteruskan (akhir) diukur dengan memasang plat di atas detector sebagaimana skema pengukuran intensitas radiasi yang ditunjukkan Gambar 1 di atas. Hasil pengukuran yang terbaca oleh detector ditunjukkan oleh Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Intensitas Radiasi Sinar X yang Terukur Sebelum dan Sesudah Melewati Plat Timbal

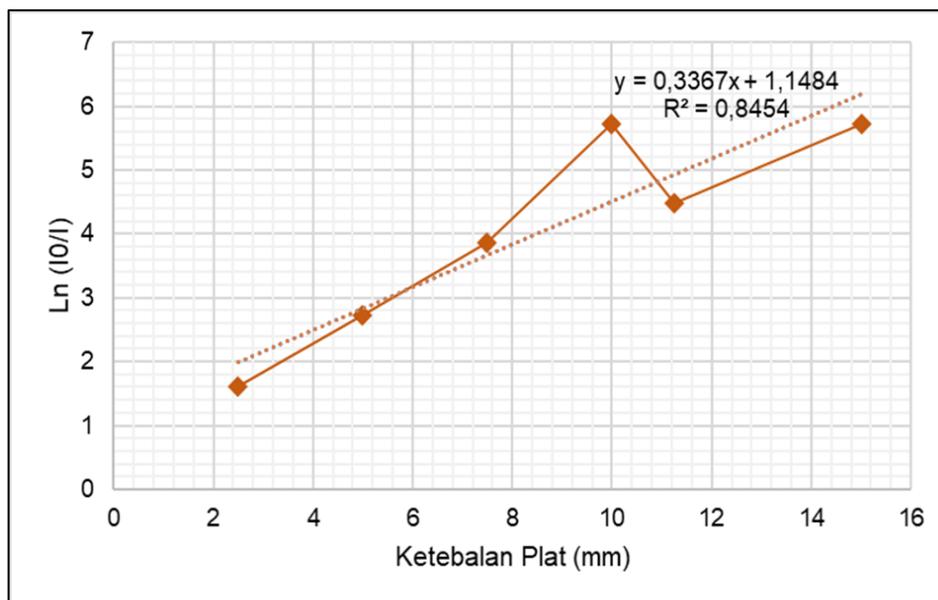
No.	Ketebalan Plat (mm)	Intensitas Radiasi awal I_0 (mR)	Intensitas Radiasi Akhir I (mR)
1.	2,5	70,353	14,139
2.	5		4,561
3.	7,5		1,482
4.	10		0,228
5.	11,25		0,798
6.	15		0,228

Untuk masing-masing ketebalan plat, intensitas radiasi sinar X yang datang bernilai sama yakni 70,535mR, dan mengalami penurunan intensitas setelah melewati plat. Hubungan intensitas radiasi dengan ketebalan bahan dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah. Dari Gambar 2 tersebut dapat terlihat bahwa secara umum intensitas radiasi dari sinar X yang melewati bahan menghasilkan pola eksponensial menurun yang sebanding dengan bertambahnya ketebalan plat. Hal ini sesuai dengan konsep atenuasi bahwa semakin tebal suatu bahan maka semakin banyak energi radiasi yang diserap akibat adanya interaksi foton dengan partikel-partikel dalam plat (Dance, Christofides, Maidment, McLean, & Ng, 2014).



Gambar 2. Hubungan antara Intensitas Radiasi dengan Ketebalan Plat

Kemampuan suatu bahan dalam menyerap radiasi ditentukan oleh nilai koefisien serapan (μ) bahan. Berdasarkan variasi ketebalan plat dan intensitas radiasi yang mampu melewati setiap ketebalan tersebut, selanjutnya dihitung berdasarkan persamaan (1). Jika dituangkan ke dalam grafik maka dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Intensitas Radiasi Sinar X yang Diserap Plat dengan Ketebalan Berbeda

Dari Gambar 3 terlihat bahwa secara umum intensitas radiasi dari sinar X dengan variasi ketebalan plat menghasilkan pola linier naik. Dari hubungan ketebalan plat dengan nilai $\text{Ln}(I_0/I)$ diperoleh persamaan $y = 0,3367x + 1,1484$. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi pengaturan pesawat sinar X yang sudah ditentukan yakni 80kV/32mAs, menghasilkan koefisien serapan radiasi plat timbal dari limbah aki sebesar 0,3367/mm.

Nilai koefisien serapan radiasi plat tersebut menunjukkan bahwa timbal yang berasal dari limbah aki mampu menyerap radiasi sinar X dengan koefisien 0,3367 untuk setiap milimeter ketebalan bahan. Jika dibandingkan dengan koefisien atenuasi timbal murni dengan kondisi faktor eksposi yang sama (80kV/32mAs) nilai koefisien serapan radiasi plat timbal limbah aki ini jauh di bawah nilai koefisien atenuasi timbal murni, yakni sebesar 5,22/mm (Setiyawan, Sutanto, & Firdausi, 2015) dan 5,429/mm (Yansyah & Sutanto, 2015).

Perbedaan nilai koefisien serapan radiasi tersebut dapat dikaitkan dengan massa jenis plat yang juga berbeda. Untuk plat timbal limbah aki dalam penelitian ini massa jenis yang terukur hanya sebesar 1,16gr/cm³, sedangkan massa jenis timbal murni adalah 11,34gr/cm³. Nilai massa jenis plat yang jauh di bawah nilai massa jenis timbal murni ini disebabkan oleh keterbatasan bahan yang tersedia dalam penelitian ini. Hal lain yang juga dapat mempengaruhi nilai koefisien serapan radiasi suatu bahan adalah nomor atom dan nomor massa, kepadatan bahan, dan energi yang berinteraksi dengan bahan.

Dalam dunia kesehatan, penggunaan radiasi sinar X sangat membantu dalam menegakkan diagnosis penyakit. Setiap pancaran radiasi sinar-X akan berinteraksi dengan bahan yang dilaluinya sehingga sebagian dari intensitasnya akan terserap dan sebagian lagi akan diteruskan. Saat pemeriksaan radiodiagnostik, sinar X melewati tubuh manusia dan akan membentuk pola intensitas radiasi yang dapat menggambarkan rangka tubuh manusia dan struktur tubuh bagian dalam, mendeteksi benda asing dalam tubuh, tulang patah serta beberapa penyakit lainnya (Tyas, 2019). Mengingat radiasi sinar X merupakan radiasi pengion, maka proteksi radiasi menjadi hal yang wajib dilakukan. Proteksi radiasi merupakan upaya untuk mengurangi dosis radiasi yang diterima. Proteksi radiasi bertujuan untuk melindungi pekerja radiasi dan masyarakat umum dari bahaya penggunaan zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya

(Nugrahaningsih, et al., 2019). Prinsip proteksi radiasi adalah mengurangi intensitas radiasi dengan materi yaitu dengan mengubah energi radiasi menjadi energi panas sehingga paparan radiasi berkurang (Sasmi, Wijaya, Ratnasari, & Marzuki, 2020). Upaya proteksi radiasi harus dilakukan sesuai dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), yaitu dosis radiasi yang diterima diusahakan seminimal mungkin dalam meminimalkan paparan radiasi yang diterima.

Salah satu implementasi proteksi radiasi bagi pekerja adalah melalui penggunaan apron saat tindakan eksposi dilakukan. Apron harus memiliki ketebalan minimal yang setara dengan 0,25 mm Pb untuk Radiologi Diagnostik (BAPETEN, 2020). Nilai koefisien serapan radiasi plat timbal limbah aki yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa seluruh variasi ketebalan plat belum menyatakan nilai kesetaraan dengan ketebalan apron Pb yang dipersyaratkan oleh BAPETEN. Sehingga dengan memodifikasi persamaan (1), dan menggunakan referensi nilai koefisien serapan radiasi timbal murni pada kondisi faktor eksposi yang sama, dapat dihitung nilai kesetaraan plat timbal limbah aki dalam penelitian ini dengan 0,25mm Pb yaitu pada ketebalan 3,876mm.

SIMPULAN

Dari hasil pengujian daya serapan radiasi bahan timbal limbah aki melalui eksposi sinar X terhadap plat timbal dengan berbagai ketebalan diketahui bahwa nilai koefisien serapan radiasi plat timbal sebesar 0,3367/mm. Timbal yang berasal dari limbah aki dapat dijadikan sebagai alternatif pembuatan perisai radiasi dengan pertimbangan kemampuan menyerap radiasi, namun demikian kesetaraan atenuasi dengan Pb untuk dijadikan Apron sesuai dengan ketentuan Bapeten masih setara dengan 3,876mm. Penelitian lanjutan disarankan untuk dilakukan dengan mengubah variasi komposisi perbandingan serbuk timbal dengan resin untuk memperoleh massa jenis yang lebih besar. Demikian pula penelitian lanjutan dengan menggunakan alat dan bahan yang lebih akurat dibutuhkan untuk memperoleh keakurasian nilai yang lebih baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Al Islam Bandung yang telah mendukung pendanaan penelitian melalui dana penelitian internal perguruan tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Alkrytania, D., & Indrajati, I. N. (2015). Analisis Bahan Apron Sintetis dengan Filler Timbal (II) Oksida Sesuai SNI untuk Proteksi Radiasi Sinar X. *Jurnal Forum Nuklir*, 9(2), 38-43.
- BAPETEN. (2020). *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir No 4 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia.
- Bapeten, K. (2020). *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia No.4 Tahun 2020 . In Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar X dalam Radiologi Diagnostik dan Intervensional* (pp. 1-52). Jakarta: Bapeten.
- Dance, D. R., Christofides, S., Maidment, A. D., McLean, I. D., & Ng, K. H. (2014). *Diagnostic Radiology Physics, A Handbook for Teacher and Student*. Vienna: International Atomic Energy Agency.

- Hasbiah, M. Y., Mulyatna, L., & Musaddad, F. (2016). Studi Identifikasi Pencemaran Udara Oleh Timbal (Pb) Pada Area Parkir (Studi Kasus Kampus Universitas Pasundan Bandung). *Infomatek*, 18(1), 49-56.
- Muharini, A., & Rosita, W. (2017). Studi Koefisien Atenuasi Kulit Sintetis dengan Bahan Isian Pb(NO₃)₂ untuk Bahan Apron Proteksi Radiasi pada Instalasi Radiodiagnostik. *Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*. Yogyakarta.
- Nugrahaningsih, W. H., Susilo, Prasetya, L., Ni'mah, L., Setiawan, R., & Mosik. (2019). Re-use of Waste Components of Accumulators (Accu) as X-ray Radiation Protection. *6th International Conference on Mathematics, Science, and Education*. Jakarta.
- Raharjo, P., Raharjo, M., & Setiani, O. (2018). Analisis Risiko Kesehatan dan Kadar Timbal Dalam Darah: (Studi Pada Masyarakat yang Mengonsumsi Tiram Bakau (*Crassostrea gigas*) di Sungai Tapak Kecamatan Tugu Kota Semarang). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 17(1), 9-15.
- Raj, K., & Das, A. P. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 78-85.
- Said, I., Lubis, D. A., & Suherman. (2014). Akumulasi Timbal (Pb) dan Tembaga (Cu) pada Ikan Kuniran (*Upeneus Sulphureus*) di Perairan Estuaria Teluk Palu. *Jurnal Akademika Kimia*, 3(2), 288-294.
- Sasmi, T., Wijaya, I., Ratnasari, D., & Marzuki, A. (2020). Kajian Bahan Kaca Boro-tellurite untuk Shielding Radiasi Gamma pada Kedokteran Nuklir Pengganti Bahan Konvensional. *National Conference PKM Centre UNS*. Surakarta.
- Setiawan, I., Sutanto, H., & Firdausi, K. S. (2015). Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan pada Tembaga dan Stainless Steel sebagai Bahan Perisai Radiasi. *Youngster Physics Journal*, 219-224.
- Sugiarti, S., Junaidi, & Jatmiko, A. W. (2021). Uji Kelayakan Apron dengan Menggunakan Imaging Plate (IP) di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Yasmin Bayuwangi. *Health Care Media*, 5(1), 8-15.
- Tyas, A. M. (2019, July 22). *RSUD Unggaran*. Retrieved Januari 19, 2022, from <http://rsudunggaran.semarangkab.go.id/artikel/16-art-health/93-penggunaan-radiasi-sinar-x-dalam-pelayanan-di-instalasi-radiologi-diagnostik-imaging-dan-radiologi-intervensional-rir.html>
- WHO. (2017). *Recycling Used Lead-Acid Batteries: Health Consideration*. Geneva: World Health Organization.
- Yansyah, A., & Sutanto, H. (2015). Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan dan Dosis Radiasi pada Variasi Kombinasi Kayu dan Alumunium. *Youngster Physics Journal*, 4(1), 87-92.
- Yanyah, A., & Sutanto, H. (2015). Penentuan Nilai Koefisien Serapan Bahan dan Dosis Radiasi pada Variasi Kombinasi Kayu dan Alumunium. *Youngster Physics Journal*, 4(1), 87-92.
- Yucel, H., Gulluoglu, E., Cubukcu, S., & Uncu, Y. A. (2016). Measurement of the Attenuation Properties of the Protective Materials Used as a Thyroid Guard and Apron for Personnel Protection against Diagnostic Medical X-rays. *Journal of Physical Science*, 27(1), 111-128.
- Yulianti, I., Susilo, Masturi, Susanti, T., & Setiawan, I. (2019). Lead-polyester Resin Composite as an Alternative Material for Radiation Protection in Radiography. *6th International Conference on Mathematics, Science, and Education*.