

Optimasi Komposit Serat Lidah Mertua–Timbal (II) Asetat sebagai Kandidat Material Apron Proteksi Radiasi Sinar-X: Kajian Atenuasi dan Sifat Mekanik

Husnul Mutmainna Zul^{1, a} Sri Zelviani^{1, b} Sefrilita Risqi Andikaning^{1, c}

¹ Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

Jl. H. M. Yasin Limpo No. 36, Gowa, 92113, Indonesia

e-mail: ^a husnulmutmainna20@gmail.com ^b sri.zelviani@uin-alauddin.ac.id ^c sefrilita.rani@uin-alauddin.ac.id

Diajukan: 13 Agustus 2026; Diterima: 20 Agustus 2026; Diterbitkan: 7 September 2026

Abstrak

Kandidat material apron berbahan timbal murni efektif menahan radiasi sinar-X, tetapi ketersediaan timbal terbatas dan berdampak buruk bagi lingkungan sehingga diperlukan material alternatif. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas dan potensi komposit serat tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata Laurentii*) dan timbal (II) asetat sebagai material alternatif apron proteksi radiasi sinar-X. Sampel komposit dibuat menggunakan metode manual blending dengan variasi komposisi serat lidah mertua dan timbal (II) asetat masing-masing 100%:0%, 80%:20%, dan 60%:40% dalam matriks resin polyester. Pengujian meliputi densitas, atenuasi radiasi (koefisien atenuasi, Half Value Layer/HVL, dan Radiation Attenuation Ratio/RAR) menggunakan pesawat X-ray mobile dan Unfors RaySafe XI pada 70 kV dan 16 mAs, serta uji internal bonding (IB). Hasil menunjukkan bahwa penambahan timbal (II) asetat meningkatkan densitas, koefisien atenuasi, dan RAR meningkat seiring peningkatan kandungan timbal(II) asetat, sementara nilai HVL menurun. Komposisi terbaik diperoleh pada 60% serat dan 40% timbal (II) asetat, dipilih berdasarkan nilai RAR tertinggi dengan tetap memenuhi batas minimum internal bonding, dengan densitas 1,30 g/cm³, koefisien atenuasi 1,342 cm⁻¹, HVL 0,5164 cm, RAR 65,69%, dan IB 5,97 kg/cm². Material ini belum memenuhi standar ketebalan timbal SNI 18-6478-2000, tetapi telah memenuhi SNI 1294-2009 dan SNI 03-2105-2006, sehingga berpotensi sebagai alternatif apron yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kata kunci: Lidah mertua; Komposit; Perisai radiasi; Sinar-X, Timbal (II) asetat

Abstract

Pure lead is highly effective at attenuating X-ray radiation, but its limited availability and adverse environmental impact necessitate the development of alternative shielding materials. This study aimed to evaluate the quality and potential of composites based on *Sansevieria trifasciata Laurentii* fiber and lead (II) acetate as an alternative material for X-ray radiation-shielding aprons. Composite samples were fabricated by manual blending with fiber-to-lead (II) acetate mass ratios of 100%:0%, 80%:20%, and 60%:40% in a polyester resin matrix. The samples were characterized in terms of density and radiation attenuation properties—attenuation coefficient, Half Value Layer (HVL), and Radiation Attenuation Ratio (RAR)—using a mobile X-ray unit and an Unfors RaySafe XI detector at 70 kV and 16 mAs, as well as internal bonding (IB) strength. The results showed that increasing the lead (II) acetate content significantly increased density, attenuation coefficient, and RAR, while HVL decreased. The best-performing composition was 60% fiber and 40% lead (II) acetate, selected on the basis of the highest RAR while still meeting the minimum internal-bonding threshold, yielding a density of 1.30 g/cm³, an attenuation coefficient of 1.342 cm⁻¹, an HVL of 0.5164 cm, an RAR of 65.69%, and an IB of 5.97 kg/cm². Although this composition does not yet meet the lead-thickness requirement of SNI 18-6478-2000, it satisfies both SNI 1294-2009 and SNI 03-2105-2006, indicating strong potential as a more sustainable and environmentally friendly alternative apron material.

Keywords: *Sansevieria trifasciata Laurentii*; composite; radiation shielding; X-ray; lead (II) acetate

PENDAHULUAN

Radiasi sinar-X banyak dimanfaatkan dalam bidang kesehatan, terutama untuk keperluan diagnostik radiologi. Di sisi lain, paparan sinar-X yang berlebihan berisiko terhadap kesehatan, sehingga proteksi radiasi menjadi kebutuhan penting bagi pekerja radiasi, salah satunya melalui penggunaan apron [1], [2]. Apron proteksi radiasi

umumnya berbahan dasar timbal karena densitasnya yang tinggi ($\pm 11,34 \text{ g/cm}^3$) dan daya serap radiasi yang baik, dengan senyawa timbal (II) asetat menjadi salah satu bahan yang banyak digunakan karena kelarutannya dalam katalis resin [3]. SNI 18-6478-2000 mensyaratkan ketebalan minimum timbal apron 0,35 mm pada bagian depan dan 0,25 mm pada bagian samping-belakang dengan daya serap 90-95%, sementara SNI 1294-2009 dan SNI 03-2105-2006 mengatur kekuatan mekanik dan nilai internal bonding minimum komposit perisai radiasi [4].

Timbal murni memiliki keterbatasan berupa ketersediaan yang terbatas dan dampak lingkungan yang buruk, sehingga berbagai penelitian mengarah pada kombinasi timbal dengan serat alam untuk menghasilkan material komposit yang lebih ramah lingkungan. Beberapa penelitian terdahulu telah mengeksplorasi kombinasi tersebut, di antaranya komposit serat rami dan resin epoxy dengan timbal asetat [5], komposit kaktus centong dan timbal (II) oksida [6], serta komposit serat ijuk dan timbal (II) oksida [7]. Di sisi lain, tanaman lidah mertua (*Sansevieria trifasciata Laurentii*) diketahui mengandung senyawa saponin, kardenolin, dan polifenol yang berpotensi sebagai penghambat radiasi [8], [9], namun kombinasinya dengan timbal (II) asetat dalam matriks polyester sebagai material apron belum banyak dikaji secara terpadu, khususnya dari sisi hubungan antara komposisi, karakteristik atenuasi radiasi, dan kekuatan mekanik komposit.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada evaluasi pengaruh variasi komposisi serat lidah mertua dan timbal (II) asetat terhadap densitas, koefisien atenuasi (μ), *Half Value Layer* (HVL), *Radiation Attenuation Ratio* (RAR), dan kekuatan rekat internal (*internal bonding*) komposit sebagai material alternatif apron proteksi radiasi sinar-X. Koefisien atenuasi linear dihitung menggunakan persamaan

$$\mu = -\frac{\ln(I/I_0)}{x} \quad (1)$$

dengan x adalah tebal sampel (cm);

HVL dihitung dari

$$HVL = \frac{0,693}{\mu} \quad (2)$$

RAR dihitung dari

$$RAR (\%) = \frac{[I_0 - I]}{I_0} \times 100. \quad (3)$$

Nilai kesetaraan tebal (tx) terhadap apron timbal dihitung menggunakan persamaan

$$tx = \frac{(\rho_{Pb} \times x_{Pb})}{\rho_{sampel}} \quad (4)$$

dengan $\rho_{Pb} = 11,34 \text{ g/cm}^3$ dan $x_{Pb} = 0,025 \text{ cm}$ (0,25 mm)

Kebaruan penelitian ini terletak pada pemanfaatan serat lidah mertua yang melimpah dan belum banyak diteliti sebagai basis komposit perisai radiasi, dikombinasikan dengan evaluasi menyeluruh terhadap tiga standar SNI sekaligus (SNI 18-6478-2000, SNI 1294-2009, dan SNI 03-2105-2006), sehingga diperoleh gambaran komprehensif mengenai kelayakan material ini baik dari aspek proteksi radiasi maupun kekuatan mekanik. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kualitas dan potensi komposit serat lidah mertua dan timbal (II) asetat sebagai material alternatif apron untuk proteksi radiasi sinar-X.

METODE

Bahan yang digunakan meliputi serat tanaman lidah mertua 80 mesh, timbal (II) asetat ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$), dan resin polyester sebagai matriks. Alat yang digunakan meliputi timbangan digital, cetakan silikon dengan ukuran ($\pm 21 \text{ cm} \times 15,5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$), mikrometer sekrup, pesawat X-ray mobile, alat ukur radiasi Unfors RaySafe XI, dan Universal Testing Machine (UTM). Serat lidah mertua diiris tipis, dikeringkan di bawah sinar matahari, digiling, dan diayak hingga berukuran 80 mesh [10], [11]. Sampel komposit disintesis dengan tiga variasi komposisi massa total 100 gram (Tabel 1), menggunakan metode manual blending: serat dan timbal (II) asetat dicampur hingga homogen, ditambahkan resin polyester beserta katalis, dituang ke cetakan, dan didiamkan pada suhu ruangan hingga mengeras [6], [12]. Massa katalis yang digunakan konsisten sebesar 10% dari massa resin pada ketiga sampel.

Tabel 1. Komposisi Sampel Komposit beserta Massa Bahan Penyusun

Kode	Serat LM (%)	Pb-asetat (%)	Serat (g)	Pb-asetat (g)	Resin (g)	Katalis (g)
A	100	0	100	0	300	30
B	80	20	80	20	240	24
C	60	40	60	40	120	12

Densitas sampel dihitung dari perbandingan massa terhadap volume hasil pengukuran dimensi dengan mikrometer sekrup. Uji atenuasi radiasi dilakukan dengan menempatkan sampel di antara sumber sinar-X dan detektor RaySafe XI pada jarak 100 cm, tegangan 70 kV dan arus 16 mAs, pada tiga kondisi (tanpa pelindung, apron timbal, dan sampel komposit), masing-masing diukur tiga kali. Sampel radiasi memiliki luas permukaan tetap, yaitu panjang $\times$ lebar = 20 cm $\times$ 15 cm = 300 cm², dengan tebal yang bervariasi menurut komposisi (1,096 cm untuk sampel A; 0,979 cm untuk sampel B; 0,697 cm untuk sampel C). Parameter yang dibaca oleh detektor Unfors RaySafe XI adalah laju dosis radiasi (I dan I_0 , dalam mSv). Koefisien atenuasi linear dihitung menggunakan persamaan (1); HVL dihitung dari persamaan (2); dan RAR dihitung dari persamaan (3). Nilai kesetaraan tebal (t_x) terhadap apron timbal dihitung menggunakan persamaan (4), dengan $\rho_{Pb} = 11,34$ g/cm³ dan $x_{Pb} = 0,025$ cm (0,25 mm) merupakan densitas dan ketebalan acuan apron timbal sesuai SNI 18-6478-2000, sedangkan ρ_{sampel} adalah densitas komposit terukur. Uji internal bonding (IB) dilakukan dengan UTM pada sampel berukuran 5 cm x 5 cm yang direkatkan pada sampel holder, ditarik hingga terjadi keretakan, dengan $IB = P_{\text{max}}/A$ (P_{max} dikonversi dari kN ke kgf menggunakan 1 kN = 101,97 kgf, sesuai perhitungan pada Lampiran I skripsi), mengacu pada SNI 1294-2009 dan SNI 03-2105-2006 [6].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisik dan Densitas

Hasil sintesis menunjukkan bahwa peningkatan kandungan timbal (II) asetat mengubah warna sampel dari coklat terang menjadi coklat pekat, sejalan dengan bertambahnya proporsi timbal (II) asetat dan resin dalam matriks komposit. Warna gelap yang dilaporkan pada kajian berikut berkaitan dengan daya serap radiasi termal (cahaya tampak/inframerah) dan bukan mekanisme atenuasi sinar-X [13]. Oleh karena itu, perubahan warna pada penelitian ini dilaporkan sebagai pengamatan visual semata dan tidak dijadikan indikator daya serap radiasi sinar-X. Tekstur permukaan sampel juga tampak berbeda secara visual pada setiap variasi komposisi (gambar 1), namun karena porositas tidak diukur secara kuantitatif pada penelitian ini, perbedaan tersebut tidak dijadikan dasar penjelasan atenuasi. Sebagai pembanding, studi pada material berpori berbasis ampas sagu [14] melaporkan kaitan antara porositas terukur dan penyerapan gelombang elektromagnetik, sehingga pengukuran porositas kuantitatif (misalnya dengan metode Archimedes atau analisis citra SEM) disarankan pada penelitian lanjutan. Pada penelitian ini, faktor yang secara terukur menjelaskan peningkatan atenuasi adalah bertambahnya densitas dan kandungan timbal (II) asetat, sebagaimana dibahas pada pembahasan Koefisien Atenuasi.



Gambar. 1 Visualisasi Sampel (a) Kode A (b) Kode B dan (c) Kode C

Data densitas (Tabel 2) menunjukkan peningkatan dari 1,12 g/cm³ (sampel A, 0% timbal) menjadi 1,30 g/cm³ (sampel C, 40% timbal), dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9959 terhadap penambahan persentase timbal (II) asetat. Kecenderungan ini konsisten dengan densitas timbal yang tinggi (11,34 g/cm³), yang secara langsung meningkatkan densitas komposit secara keseluruhan [15].

Tabel 2. Densitas dan Parameter Atenuasi Radiasi Sampel Komposit (70 kV, 16 mAs)

Kode	Pb (%)	ρ (g/cm ³)	μ (cm ⁻¹)	HVL (cm)	RAR (%)
A	0	1,12	$0,168 \pm 0,0033$	$4,1278 \pm 0,0815$	$16,81 \pm 0,71$
B	20	1,20	$0,628 \pm 0,0085$	$1,1031 \pm 0,0150$	$45,94 \pm 0,45$
C	40	1,30	$1,342 \pm 0,0050$	$0,5164 \pm 0,0019$	$65,69 \pm 0,14$

Nilai μ , HVL, dan RAR pada Tabel 2 dihitung dari rata-rata tiga kali pengukuran laju dosis (I dan I_0). Rata-rata $\pm$ simpangan baku (SD) dari data pengukuran ulangan adalah: $I_0 = 1,167 \pm 0,003$ mSv; $I_A = 0,9709 \pm 0,0025$ mSv; $I_B = 0,6309 \pm 0,0050$ mSv; dan $I_C = 0,4004 \pm 0,0012$ mSv.

Koefisien Atenuasi (μ), HVL, dan RAR

Koefisien atenuasi (μ) yang ditunjukkan pada (Tabel 2.) meningkat seiring bertambahnya kandungan timbal (II) asetat, dari $0,168\text{cm}^{-1}$ (sampel A) menjadi $1,342\text{cm}^{-1}$ (sampel C), sedangkan HVL menurun tajam dari $4,1278\text{cm}$ menjadi $0,5164\text{cm}$. Kedua parameter ini berbanding terbalik, artinya semakin tinggi μ , semakin tipis material yang dibutuhkan untuk melemahkan radiasi hingga separuhnya, sejalan dengan temuan Hasan dkk. (2021) pada geopolimer berbasis slag dan fly ash. Peningkatan densitas juga sejalan dengan kenaikan μ , menunjukkan bahwa material yang lebih rapat memiliki lebih banyak atom penyerap radiasi per satuan tebal, konsisten dengan penelitian Lunga dkk. (2020) [16], [17].

RAR meningkat dari $16,81\%$ (sampel A) menjadi $65,69\%$ (sampel C). Nilai RAR sampel A yang sudah mencapai $16,81\%$ tanpa kandungan timbal menunjukkan bahwa serat lidah mertua secara mandiri memiliki kemampuan awal menyerap radiasi, sementara penambahan timbal (II) asetat meningkatkan efektivitas tersebut secara signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa serat lidah mertua tidak hanya berperan sebagai pengisi pasif, tetapi turut mendistribusikan partikel timbal secara merata dalam matriks, sejalan dengan mekanisme peningkatan kekuatan mekanik melalui distribusi filler yang merata sebagaimana dilaporkan Junaedi dkk. (2020) pada komposit serat karbon [18].

Kesetaraan Tebal terhadap Apron Timbal

Semakin tinggi kandungan timbal, semakin kecil ketebalan komposit yang diperlukan untuk mencapai kesetaraan massa per satuan luas dengan timbal $0,25\text{ mm}$ (tabel 3). Namun demikian, jenis dan komposisi material merupakan faktor penting dalam menentukan kemampuan proteksi radiasi, sehingga kesetaraan tebal tidak dapat digunakan secara langsung untuk menyatakan kesetaraan kemampuan atenuasi. Hal ini sebagaimana diperlihatkan Japeri.dkk. (2013) bahwa 1 mm timbal jauh lebih efektif dibanding kayu setebal 40 mm [19].

Tabel 3. Nilai kesetaraan tebal (tx) terhadap apron timbal ($0,25\text{ mm}$; $11,34\text{ g/cm}^3$)

Kode	Pb (%)	ρ (g/cm ³)	tx (cm)
A	0	1,12	0,253
B	20	1,20	0,236
C	40	1,30	0,218

Internal Bonding

Tabel 4. Hasil uji internal bonding (IB) sampel komposit

Kode	Luas (cm ²)	IB (kg/cm ²)
A	25,47	22,70
B	25,10	25,91
C	24,92	5,97

Sampel B menunjukkan nilai IB tertinggi ($25,91\text{ kg/cm}^2$), diikuti sampel A ($22,70\text{ kg/cm}^2$), sementara sampel C dengan kandungan timbal tertinggi memiliki IB terendah ($5,97\text{ kg/cm}^2$). Pola ini menunjukkan bahwa kandungan serat lidah mertua berkontribusi besar terhadap kekuatan ikatan internal komposit, sejalan dengan Dwiyati (2014) yang melaporkan peningkatan kekuatan tarik dan ketangguhan komposit serat tebu matriks polyester seiring

bertambahnya fraksi volume serat[20]. Ketiga sampel tetap memenuhi nilai minimum internal bonding menurut SNI 03-2105-2006 (1,5 kg/cm²), meskipun sampel C dengan proporsi timbal tertinggi menunjukkan penurunan kekuatan rekat yang perlu menjadi perhatian dalam pengembangan lebih lanjut.

Komposisi C dipilih sebagai komposisi terbaik berdasarkan nilai RAR tertinggi dengan tetap memenuhi batas minimum internal bonding yang digunakan dalam penelitian (SNI 03-2105-2006, 1,5 kg/cm²), meskipun nilai IB sampel C (5,97 kg/cm²) jauh lebih rendah daripada sampel B (25,91 kg/cm²). Pemilihan ini bergantung pada kriteria yang diprioritaskan: apabila daya proteksi radiasi menjadi prioritas utama, sampel C lebih unggul; namun apabila kekuatan mekanik menjadi prioritas, sampel B lebih sesuai. Material ini belum sepenuhnya menggantikan timbal murni karena belum memenuhi ketebalan minimum SNI 18-6478-2000, tetapi telah memenuhi SNI 1294-2009 dan SNI 03-2105-2006, sehingga tetap menjanjikan sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Variasi komposisi serat lidah mertua dan timbal (II) asetat berpengaruh signifikan terhadap densitas, koefisien atenuasi, HVL, RAR, dan kekuatan rekat internal komposit. Komposisi 60% serat lidah mertua dan 40% timbal (II) asetat dipilih sebagai komposisi terbaik berdasarkan nilai RAR tertinggi dengan tetap memenuhi batas minimum internal bonding yang digunakan dalam penelitian, dengan densitas 1,30 g/cm³, koefisien atenuasi 1,342 cm⁻¹, HVL 0,5164 cm, RAR 65,69%, dan IB 5,97 kg/cm². Material ini belum memenuhi standar ketebalan timbal SNI 18-6478-2000, namun telah memenuhi SNI 1294-2009 dan SNI 03-2105-2006, sehingga berpotensi sebagai material alternatif apron proteksi radiasi sinar-X yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Penelitian lanjutan disarankan untuk melengkapi karakterisasi mekanik dengan uji kuat tarik, uji lentur, dan uji ketahanan sobek, serta mengkaji stabilitas material terhadap faktor lingkungan seperti kelembapan, suhu, dan paparan cahaya guna menilai umur pakai dan potensi degradasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Yunus and K. Bandu, "Efek radiasi sinar-x pada anak-anak: The effect of x-ray radiation on children," *Makassar Dent. J.*, vol. 8, no. 2, 2019.
- [2] A. A. Mustofa, N. Hadziqoh, and N. Lasiyah, "Analisis Tingkat Keselamatan Peralatan Proteksi Radiasi Terhadap Radiographer Pada Rumah Sakit B PekanbaruU," *Biomed. Environ. Health Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 41–47, 2024.
- [3] I. Rahmawati, E. B. Jumpeno, and J. Mellawati, "Analisis Tingkat Absorpsi Berkas Sinar-X Pada Sintesis Komposit Kaktus (*Opuntia Spp.*) Dan Timbal (II) Asetat ($Pb(CH_3COO)_2$) Sebagai Material Apron," *Ganendra Maj. IPTEK Nukl.*, vol. 26, no. 2, pp. 82–90, 2023.
- [4] L. Indrayanti, G. Siska, and F. Sijabat, "Uji Pendahuluan Sifat Fisika Mekanika Papan Partikel Kayu Kawui (*Vernonia Arborea*) dengan Tiga Persentase Perekat PVAc (Polyvinyl Acetate)," *Agrienvi J. Ilmu Pertan.*, vol. 17, no. 01, pp. 27–36, 2023.
- [5] N. Jusli *et al.*, "Composite of Hemp Fiber and Lead Acetate Epoxy Resin as an Alternative X-Ray Radiation Shielding Material," *KONSTAN-J. Fis. DAN Pendidik. Fis.*, vol. 8, no. 01, pp. 26–32, 2023.
- [6] I. Rahmawati, E. B. Jumpeno, J. Mellawati, and R. Ramlan, "Analisis Pengaruh Densitas Terhadap Potensi Komposit Apron Proteksi Radiasi Sinar-X dengan Bahan Kaktus Centong dan Timbal (II) Asetat," *J. Penelit. Sains*, vol. 25, no. 2, pp. 125–130, 2023.
- [7] W. Husain, "Analisis Pengaruh Tegangan Tabung Dan Arus Terhadap Daya Serap Radiasi Dan Laju Dosis Radiasi Pada Bahan Serat Ijuk Dan Timbal (II) Oksida Sebagai Perisai Radiasi Sinar-X= Analysis Of The Effect Of Tube Voltage And Current On Radiation Absorption And Radiation Dose Rate On Palm Fiber Material And Lead (II) Oxide As X-Ray Radiation Shielding," Universitas Hasanuddin, 2021.
- [8] S. Sunardi and K. Sari, "Pengaruh Konsentrasi Larutan Ekstrak daun Lidah Mertua terhadap Absorbansi dan Transmittansi pada Lapisan Tipis," in *Joint Prosiding IPS dan Seminar Nasional Fisika*, 2012, pp. 54–57.
- [9] R. P. Mulyani and S. Abdullah, "Pengaruh *Sansevieria spp.* terhadap penurunan tingkat radiasi elektromagnetik di laboratorium jurusan kesehatan lingkungan Purwokerto tahun 2016," *Bul. Keslingmas*, vol. 36, no. 4, pp. 463–469, 2017.
- [10] P. S. W. Kusuma, "Kualitas Air Sungai Yang Diolah Menjadi Air Bersih Dengan Menggunakan Serbuk Kaktus Centong (*Opuntia cochenillifera*)," *STIGMA J. Mat. Dan Ilmu Pengetah. Alam Unipa*, vol. 7, no. 01, 2014.
- [11] R. Desiasni, N. Azman, and F. Widyawati, "Sifat fisik dan mekanik komposit papan partikel berdasarkan variasi ukuran serbuk kayu mahoni (*Swietenia Macrophylla*) sebagai material alternatif: papan komposit," *J. Tambora*, vol. 7, no. 2, pp. 78–83, 2023.

- [12] A. Angelia, M. A. Ghofur, A. D. Nugroho, P. Purwadi, and P. Herlambang, "Analisis kekuatan tarik, bending, mikrostruktur, komposisi dan kemampuan redam suara komposit serat pelepah pisang menggunakan metode Vacuum Assisted Resin Infusion," *Proceeding SENATIK ITD Adisutjipto Yogyak.*, vol. 6, pp. 67–80, 2020.
- [13] N. Nurhayati, F. Saputra, A. P. Asmara, and M. Malahayati, "Pengukuran Radiasi Kalor pada Beberapa Bohlam yang Berbeda Warna," *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 80–85, 2021.
- [14] R. Andreas, M. Munawar, and M. Misriana, "Analisis Radiasi Anechoic Chamber Material Ampas Sagu Pada Frekuensi 8, 96 Ghz," *J. TEKTRONIKA*, vol. 8, no. 2, pp. 298–303, 2024.
- [15] M. Maimunah, R. Riyatun, S. Suharyana, and M. Muhtarom, "Optimalisasi Ketebalan Timbal Untuk Mendapatkan Kualitas Citra Guna Mendukung Verifikasi Pada Pesawat Teleterapi 60Co," in *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*, 2020.
- [16] M. W. Hasan, S. Sugiharto, and S. Astutiningsih, "Gamma radiation shielding properties of slag and fly ash-based geopolymers," *At. Indones.*, vol. 47, no. 3, pp. 173–180, 2021.
- [17] M. Becker, "A Mineral X-ray Linear Attenuation Coefficient Tool (MXLAC) to Assess Mineralogical Differentiation for X-ray Computed Tomography Scanning," *Minerals*.
- [18] H. Junaedi, M. Baig, A. Dawood, E. Albahkali, and A. Almajid, "Mechanical and physical properties of short carbon fiber and nanofiller-reinforced polypropylene hybrid nanocomposites," *Polymers*, vol. 12, no. 12, p. 2851, 2020.
- [19] C. Anam, "Penentuan Koefisien Serapan Kayu Bangkirai (*Shorea laevifolia*) dan Perbandingannya terhadap Timbal (Pb) sebagai Dinding Ruang Radiologi Diagnostik," *Youngster Phys. J.*, 2013.
- [20] S. T. Dwiwati, "Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Sifat Mekanik Komposit Serat Tebu/Poliester," *J. Konversi Energi Dan Manufaktur*, pp. 164–168, 2014.