

## STUDI PUSTAKA: IDENTIFIKASI DAMPAK RADIOAKTIVITAS PADA LINGKUNGAN DAN KESEHATAN MANUSIA

Aminatun<sup>1\*</sup>, Chairatul Umamah<sup>2</sup>, Nur Fadilah<sup>3</sup>, Naili Rohmatika<sup>4</sup>, Moh. Ma'ruf Amin<sup>5</sup>

<sup>12345</sup>Program Studi Pendidikan Fisika, FKIP, Universitas Islam Madura, Indonesia

Jl. PP Miftahul Ulum Bettet Pamekasan

Corresponding Author: [aminatun0716@gmail.com](mailto:aminatun0716@gmail.com)

### ABSTRAK

Kecanggihan teknologi telah membawa perubahan signifikan di berbagai bidang, terutama dalam lingkungan dan kesehatan. Radioaktivitas yang merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam kemajuan teknologi ini, memiliki aplikasi luas terutama dalam bidang kedokteran dan industri. Meskipun memiliki manfaat signifikan, radioaktivitas juga membawa dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk memperjelas dan menganalisis dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia yang sangat besar. Fokus analisisnya adalah terhadap gas-gas polutan yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan serta pengaruh unsur radioaktif alam dan radiasi jika bereaksi pada tubuh manusia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka yang dikumpulkan dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, dan internet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa radioaktivitas dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, termasuk polusi udara tanah dan air, serta berdampak kesehatan seperti kanker paru-paru akibat paparan radon dan gangguan kesehatan lainnya. Radioaktivitas juga berpotensi menyebabkan kerusakan genetik pada flora dan fauna. Penelitian ini menekankan pentingnya regulasi dan upaya mitigasi seperti pengembangan teknologi solidifikasi/stabilisasi yang efektif dan pemantauan terus-menerus untuk meminimalkan dampak negatif radioaktivitas serta perlunya peningkatan kesadaran masyarakat mengenai risiko yang ditimbulkan.

**Kata Kunci:** *Radioaktivitas, lingkungan, kesehatan*

### ABSTRACT

*Technological advances have brought significant changes in various fields, especially in the environment and health. Radioactivity, one of the methods widely used in technological advancement, has wide applications, especially in medicine and industry. Despite its significant benefits, radioactivity also has significant negative impacts on the environment and human health. This research aims to clarify and analyse the enormous impact of radioactivity on the environment and human health. The focus of the analysis is on pollutant gases that can cause environmental pollution as well as the influence of natural radioactive elements and radiation when they react on the human body. The method used in this research is a literature study collected from various sources such as journals, books, and the Internet. The research results show that radioactivity can cause environmental pollution, including air, soil, and water pollution, and health impacts such as lung cancer due to radon exposure and other health problems. Radioactivity also has the potential to cause genetic damage to flora and fauna. This research emphasizes the importance of regulations and mitigation efforts such as the development of effective solidification/stabilization technology and continuous monitoring to minimize the negative impacts of radioactivity and the need to increase public awareness regarding the risks posed.*

**Keywords:** *Radioactivity, environment, health*

## PENDAHULUAN

Kecanggihan teknologi telah membawa perubahan signifikan di berbagai bidang, terutama dalam lingkungan dan kesehatan. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam kecanggihan teknologi ini adalah metode radiasi, yang memanfaatkan prinsip radioaktivitas. Dalam kehidupan sehari-hari pada dasarnya kita tidak dapat terlepas dari masalah pengaruh radiasi/radioaktivitas (Cepi Hikmat, 2020). Di era modern ini, radioaktivitas menjadi salah satu isu kritis yang berdampak pada lingkungan dan kesehatan manusia. Kemajuan teknologi dan industrialisasi telah meningkatkan paparan terhadap sumber-sumber radioaktif, baik yang alami maupun buatan (Natarajan et al., 2020).

Dalam bidang kesehatan, radiasi digunakan dalam diagnosis dan terapi medis, seperti dalam prosedur radiografi dan radioterapi untuk mengobati kanker. Di sisi lain, dalam bidang lingkungan, teknologi radiasi membantu dalam pengelolaan limbah dan deteksi polutan (Luhar, et al., 2023). Meskipun radioaktivitas telah dimanfaatkan secara luas dalam berbagai bidang seperti kedokteran baik untuk kepentingan diagnosis maupun untuk pengobatan berbagai macam penyakit, dampak negatifnya tidak dapat diabaikan (Rosilawati, Nasution, & Murni, 2017). Menurut (Afifah & Murniati, 2023) Penggunaan bahan radioaktif juga dimanfaatkan dalam bidang kedokteran, industri, dan penelitian ilmiah.

Meskipun radioaktivitas memiliki banyak aplikasi yang bermanfaat, radioaktivitas juga memiliki dampak yang signifikan terutama pada lingkungan dan kesehatan manusia. Pada penelitian (Rahayu, Romadhina, & siti, 2021) menyatakan bahwa salah satu limbah nuklir yang bersifat radioaktif merupakan salah satu senyawa kimia yang sangat mempengaruhi kualitas dan kuantitas air, ada dugaan bahwa bahan radioaktif juga menginfeksi tuna ikan biru. Pelepasan bahan radioaktif ke laut menyebabkan lingkungan terkontaminasi dan menimbulkan kekhawatiran tentang dampaknya pada organisme laut, termasuk ikan yang menjadi sumber pangan (Tyas & Yulistiani, 2023). Radioaktivitas dapat masuk ke lingkungan laut melalui proses erosi, pelapukan, dan daur ulang mineral. Dampak ini juga dapat berupa peningkatan konsentrasi radionuklida dalam air laut dan biota, yang juga dapat berbahaya bagi kesehatan manusia jika dikonsumsi (Makmur, Prihatiningsih, & Yahya, 2019).

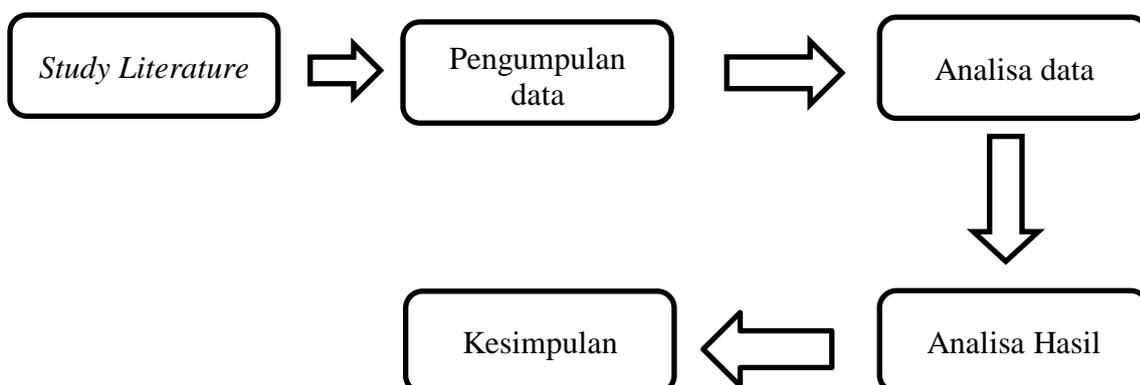
Dampak radioaktivitas pada lingkungan khususnya terkait polutan atau polusi udara dapat sangat merugikan. Partikel radioaktif yang dilepaskan ke atmosfer, baik dari pembangkit listrik tenaga nuklir, kecelakaan nuklir, atau uji coba senjata nuklir, dapat menyebar melalui angin dan mengendap di permukaan tanah dan air, menyebabkan kontaminasi luas.. Polusi udara oleh zat radioaktif dapat terhirup oleh manusia dan hewan, menyebabkan masalah kesehatan seperti gangguan pada pernafasan, penyakit Kardiovaskular, penyakit Kronis dan penyakit lainnya (Aryanta & Maharani, 2023). Selain itu, partikel radioaktif di udara dapat diserap oleh tanaman, masuk ke rantai makanan, dan membahayakan kesehatan makhluk hidup yang mengonsumsinya. Setiap tahun, polusi udara menyebabkan jutaan kematian di seluruh dunia (Zettira & Yudhastuti, 2022). Penelitian (Sudaryanto, Prasetyawati, Sinaga, & Muslikah, 2022) menyebutkan bahwa polusi udara menyebabkan sedikitnya 3,7 juta kematian dini setiap tahunnya di seluruh dunia. Polusi udara radioaktif juga dapat merusak flora dengan mengganggu proses fotosintesis dan menyebabkan mutasi genetik pada tanaman. Berdasarkan uraian diatas perlu adanya analisis kajian pustaka mengenai dampak radioaktivitas, termasuk polusi udara yang mengakibatkan jutaan kematian, untuk meminimalisir dampak yang terjadi. Dengan memahami dampak radioaktivitas yang telah diungkapkan oleh studi-studi

sebelumnya, peneliti dapat mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif dan tepat sasaran serta memberikan konteks yang lebih luas mengenai implikasi kesehatan dan lingkungan dari radioaktivitas, memperkuat argumen tentang pentingnya regulasi dan upaya pengendalian polusi udara untuk melindungi kesehatan publik.

Berdasarkan hasil analisis berbagai literatur tentang dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia dilakukan identifikasi dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia (*study literatur*) dengan tujuan memperjelas dampak/risiko radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia yang sangat besar, terutama karena banyak informasi yang jarang diketahui oleh masyarakat umum dan mengembangkan mitigasi yang efektif, guna melindungi ekosistem dan meminimalkan resiko kesehatan yang terkait dengan paparan radiasi.

## METODE

Penelitian deskriptif ini menggunakan metode *study literatur* untuk mengetahui, mengidentifikasi dan menganalisis topik penelitian yang terkait (Hamilton, 2021). Dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia didapat dari sumber-sumber seperti jurnal, buku dan internet. Beberapa metode dari studi literatur dapat berupa mengetahui, menganalisis, mengidentifikasi, memberikan interpretasi serta beberapa evaluasi pada penelitian yang sudah dilakukan (Nistrina, 2021). Nazir (2014) mengartikan studi literatur sebagai penelitian yang dilakukan dengan cara menelaah berbagai kajian kepustakaan yang diperlukan dalam penelitian. *Study literatur* yang dilakukan dalam penelitian ini ialah menggunakan serangkaian teknik pengumpulan data, mengolah data hasil dari penelitian sebelumnya yang relevan. Sebanyak 16 referensi dari publikasi artikel dari sumber dalam dan luar negeri diselidiki dalam penelitian ini, jurnal yang digunakan adalah jurnal bereputasi yang diperoleh antara tahun 2014-2023. Peneliti mengumpulkan informasi dan terus menarik kesimpulan untuk mengungkap dampak/resiko radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia serta beberapa upaya meminimalisir dampak/resiko terkait. Hasil *study literatur* tersebut menggunakan metodologi penelitian yang disajikan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Alur Penelitian

Bagian awal penelitian ini yaitu mengenai *study literature* dengan melakukan analisa data literatur supaya memperoleh suatu kesimpulan yang lebih relevan. Tahap kedua meliputi

pengumpulan data yang berarti mengambil data yang akan diteliti dari beberapa sumber, berupa referensi publikasi artikel nasional dan internasional dan buku tentang dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia. Tahap ketiga dari proses penelitian adalah analisis data, dimana peneliti mengolah data yang telah diperoleh menjadi variabel dalam penelitian. Setelah itu, diikuti dengan mendiskusikan hasilnya yang diperoleh dari pengolahan data sebelumnya. Selanjutnya pada tahap akhir, peneliti merancang kesimpulan mengenai dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia yang jarang disadari oleh masyarakat serta beberapa upaya untuk meminimalisirnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. HASIL STUDY LITERATUR

Dalam artikel yang berjudul "identifikasi dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia; study literatur" terdapat beberapa referensi yang kami temukan pada jurnal maupun buku yang mana masih berkaitan dengan dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia, juga salah satu jurnal ini terdapat referensi yang menarik pembahasannya. Pada dasarnya dalam kehidupan sehari-hari kita tidak terlepas dari masalah radioaktivitas. Selain memiliki banyak aplikasi yang bermanfaat, radioaktivitas mempunyai banyak dampak signifikan yang jarang diketahui, maka dari itu di perlukan adanya kajian study literatur. Dibawah ini merupakan referensi jurnal yang diambil dari beberapa jurnal, pada tabel 1 dibawah ini.

NO	Judul	Dampak Pada Lingkungan	Dampak Pada Kesehatan
1	(Aryanta & Maharani, 2023) Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan Dan Cara Meminimalkan Resikonya.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa polusi udara telah menjadi isu lingkungan yang mendesak di seluruh dunia dan dapat menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai peruntukannya.	
2	(Tyas & Yulistiani, 2023) Potential Effects of Japanese Nuclear Waste in Fukushima on Fish Organs in the Sea of Japan	Tingkat radiasi yang tinggi dapat menyebabkan perubahan histologis pada organ-organ vital ikan. Keberlanjutan lingkungan, terutama bagi organisme laut di rantai makanan yang lebih tinggi. Selain itu, kerusakan pada organ ikan juga dapat berdampak ekonomi dan sosial, terutama terhadap industri perikanan dan kesejahteraan masyarakat yang bergantung pada sumber daya laut.	
3	(Afifah & Murniati, 2023) Studi Radon (Rn-222) dalam Lingkungan: Pembentukan, Paparan, dan Dampaknya Bagi Manusia		Radon merupakan gas radioaktif yang terbentuk sebagai produk peluruhan alami dari uranium dan dapat dilepaskan dari tanah dan batuan ke atmosfer, serta masuk ke dalam bangunan, menjadi sumber paparan

		radiasi bagi manusia. Radon yang merupakan sebuah unsur kimia dalam bentuk gas yang bersifat radioaktif, tidak berwarna, bau, atau rasa. Paparan radon melalui inhalasi secara terus menerus dapat meningkatkan risiko kanker paru-paru bagi individu yang terpapar.
4	(Sari et al., 2023) Analisis Dampak Radiasi oleh Pltn terhadap Populasi Organisme di Laut.	Radiasi dari pltn berdampak negatif signifikan terhadap ekosistem laut dan organisme di dalamnya. Juga mempercepat metabolisme ikan, menyebabkan malnutrisi akibat kurangnya sumber makanan.
5	(Luhar, et al., 2023), Solidification/Stabilization Technology for Radioactive Wastes Using Cement: An Appraisal.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan semen dalam teknologi solidifikasi/stabilisasi limbah radioaktif memiliki dampak positif dalam menciptakan bentuk limbah yang tahan lama, mengurangi tingkat leaching radionuklida, dan memberikan perlindungan radiasi yang penting. Penambahan bahan tambahan seperti kaolin juga dapat memengaruhi sifat leaching dan kekuatan dari limbah yang telah dicementasi
6	(Yushardi et al., 2022) Potensi Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Terhadap Kesehatan.	Paparan radiasi radio frekuensi dapat mengakibatkan proliferasi sel-sel tumor yang dibiak in vitro setelah terpajan, seperti yang ditunjukkan dalam studi oleh stephen clery dari virginia medical college, richmond. Jurnal ini juga menyebutkan bahwa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan dari penggunaan telepon seluler berpotensi menyebabkan beberapa gangguan kesehatan. Seperti tumbuhnya tumor dan kanker di otak, stres, gangguan sperma, glioma, dan gangguan sel darah merah.
7	(Stenke et al., 2022) The Acute Radiation Syndrome—Need For Updated Medical Guidelines.	Hasil penelitian ini membahas pentingnya pembaruan pedoman medis untuk sindrom radiasi akut (acute radiation syndrome). Radiasi dikatakan juga menjadi

		penyebab ARS. Artikel ini juga membahas perkembangan terbaru dalam pengembangan kontra medis untuk mengelola paparan radiasi akut serta pelatihan untuk triase klinis terhadap korban radiasi akut.
8	(Zettira & Yudhastuti, 2022) Perbedaan Polutan Penyebab Polusi Udara Dalam Ruang Pada Negara Maju dan Berkembang: Literature Review	Radioaktivitas juga merupakan salah satu bentuk polusi yang dapat memengaruhi kualitas udara dalam ruangan. Polusi udara radioaktif juga dapat merusak flora dengan mengganggu proses fotosintesis dan menyebabkan mutasi genetik pada tanaman. Efek jangka panjang dari kontaminasi udara radioaktif dapat memperburuk kualitas udara, dan mengganggu ekosistem.
9	(Fayanto, et al., 2016) Peluruhan zat radioaktif	Hasil penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai sifat penyerapan zat radioaktif oleh berbagai bahan serta pengaruhnya terhadap panjang kehidupan zat radioaktif. Penelitian ini juga memberikan kontribusi dalam memahami proses peluruhan zat radioaktif secara lebih komprehensif.
10	(Septiwi, 'Aini, Azzahra, Syifa, & Rahardiyanti, 2021) Bahaya sinar radiasi bagi kesehatan mata	Dampak radioaktif dari penggunaan gadget, khususnya handphone, terhadap kesehatan mata dapat mencakup gangguan kesehatan pada mata. Lebih dari setengah dari responden dalam penelitian tersebut mengalami masalah kesehatan mata, yang kemungkinan disebabkan oleh paparan sinar radiasi elektromagnetik dari penggunaan gadget secara intensif
11	(Rahayu, Romadhina, & siti, 2021) Bahaya Pembuangan Limbah Nuklir Di Jepang Pada Spesies Ikan Tuna Sirip Biru .	Hasil penelitian ini, dampak radioaktif dari kecelakaan nuklir Fukushima terhadap populasi ikan tuna sirip biru di Samudra Pasifik telah menimbulkan kekhawatiran yang signifikan. Kecelakaan Fukushima menunjukkan tingkat radiasi di atas batas yang dianggap aman. Ebocoran limbah nuklir tidak hanya terbatas pada tingkat radiasi yang terpapar oleh ikan, tetapi juga

		melibatkan faktor-faktor lain seperti kehilangan habitat, efek radiasi pada kesehatan dan kesuburan ikan.	
12	(Malaka, 2019) Dampak radiasi radioaktif pada kesehatan		Bahan-bahan radioaktif alamiah, seperti U238 dan Th232, yang telah ada sejak bumi terbentuk. Bahan-bahan ini tersebar di seluruh kerak bumi dan menghasilkan turunan radioaktif, termasuk unsur-unsur radium seperti Ra226 dan Ra224. Ra226 kemudian meluruh menjadi Rn222 (Radon), sementara Ra224 meluruh menjadi Rn220 (Toron). Keduanya adalah gas mulia radioaktif yang dapat terlepas ke udara. Jurnal ini menyatakan bahwa paparan radiasi dapat menyebabkan tubuh manusia menyerap energi radiasi, yang kemudian diserap oleh sel.
13	(Makmur, Prihatiningsih, & Yahya, 2019) Penilaian Dampak Bahaya Radiologis Terhadap Radionuklida Natural di Pesisir Pulau Bengkalis	Aktivitas radionuklida seperti 226Ra, 212Pb, 214Pb, 214Bi, 228Ac, dan 40K telah terdeteksi dalam perairan laut di Pesisir Pulau Bengkalis dengan rentang nilai aktivitas yang bervariasi . Tingginya aktivitas 40K di Pesisir Pulau Bengkalis dibandingkan dengan beberapa lokasi lainnya menunjukkan adanya potensi dampak dari aktivitas industri atau pertambangan yang melibatkan bahan baku dari kerak bumi .	
14	(Rosilawati, Nasution, & Murni, 2017) Penggunaan radiofarmaka untuk diagnosa dan terapi di Indonesia dan asas keamanan penggunaan obat.		Hasil penelitian ini yaitu penggunaan radiofarmaka dalam kedokteran nuklir memerlukan pengawasan ketat karena paparan radiasi radiofarmaka dapat memberikan dampak negatif kepada pasien, petugas radiasi, dan lingkungan sekitarnya. Meskipun radiasi memiliki manfaat dalam diagnosis dan pengobatan penyakit, radiasi juga dapat menimbulkan risiko bahaya terhadap manusia, harta benda, dan lingkungan
15	(Thomas & Symonds, 2016) Radiation Exposure and	Selain itu, penelitian ini membantu dalam merancang strategi yang lebih	Dampak radioaktif dari hasil penelitian ini adalah

Health Effects - is it Time to Reassess the Real Consequences?	baik untuk mengelola konsekuensi dari kecelakaan nuklir dan meningkatkan kesadaran akan risiko radiasi di lingkungan sekitar.	peningkatan pemahaman tentang risiko kesehatan yang terkait dengan paparan radiasi rendah, terutama dalam konteks kecelakaan nuklir seperti Chernobyl dan Fukushima. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya komunikasi risiko yang efektif kepada masyarakat dan pembuat kebijakan dalam menghadapi situasi darurat nuklir.
16 (Tuka & Dewi, 2016) Petugas Proteksi Radiasi Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (Tenorm)	Potensi pelepasan radioaktivitas alam atau peningkatan konsentrasi radioaktivitas alam yang dapat mempengaruhi lingkungan hidup risiko terkonsentrasinya. Unsur radioaktif alamiah pada limbah yang dihasilkan selama proses pengolahan tenorm berdampak negatif pada lingkungan.	Diketahui bahwa potensi paparan radiasi yang dapat meningkatkan risiko kesehatan bagi pekerja yang terlibat dalam pengelolaan tenorm

*Tabel. 1 Hasil Kajian Literatur*

## B. PEMBAHASAN

### a. Dampak pada Lingkungan

Radioaktivitas adalah proses di mana inti atom yang tidak stabil melepaskan partikel dan energi untuk mencapai kestabilan. Tiga jenis radiasi utama yang dihasilkan adalah: Alpha ( $\alpha$ ), Beta ( $\beta$ ), Gamma ( $\gamma$ ). Radioaktivitas memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan, yang dapat bervariasi tergantung pada jenis dan jumlah bahan radioaktif yang dilepaskan serta kondisi lingkungan sekitarnya. Salah satu contoh radioaktivitas pada lingkungan yaitu polusi udara radioaktif dimana merupakan salah satu bentuk khusus dari polusi udara yang melibatkan pelepasan bahan radioaktif ke atmosfer. Semakin tinggi angka indeks kualitas udara, dan semakin banyak jenis polutan serta semakin sensitif kelompok individu, maka semakin buruk pengaruh polusi udara terhadap lingkungan. Polusi radioaktif terjadi ketika bahan radioaktif dilepaskan ke lingkungan. Sumber-sumber polusi radioaktif bisa berasal dari aktivitas manusia seperti pembangkit listrik tenaga nuklir, penggunaan medis isotop radioaktif, dan insiden nuklir.

Menurut Penelitian dari (Luhar, et al., 2023) dalam artikelnya membahas bahwa limbah radioaktif dapat mencemari lingkungan dengan melepaskan partikel radioaktif yang dapat menyebabkan kerusakan pada tanah, mengurangi kesuburan tanah, mutasi genetik, serta menghambat pertumbuhan tanaman. Selain itu, limbah radioaktif juga dapat menyebabkan pencemaran air dan udara, yang dapat berdampak negatif pada organisme hidup di lingkungan tersebut. Bahan radioaktif yang dilepaskan ke lingkungan dapat mencemari air dan tanah sebagaimana dampak lingkungan dari kecelakaan yang terjadi selama penanganan limbah radioaktif, seperti kecelakaan di Lake Karachay di Uni Soviet yang menyebabkan limbah

radioaktif tersebar akibat badai debu, serta kecelakaan di fasilitas limbah radioaktif rendah di Maxey Flat, Kentucky, di mana air hujan merusak penampungan limbah dan menyebabkan pencemaran air. Pencemaran ini dapat berlangsung lama karena beberapa isotop radioaktif memiliki waktu paruh yang sangat panjang. Sebagai contoh, cesium-137 radon 222, kalium-40 Fukushima da beberapa contoh lainnya.

Penelitian (Thomas & Symonds, 2016) menyatakan dalam konteks lingkungan sumber radiasi alam seperti radon merupakan kontributor utama radiasi latar. Bencana nuklir seperti Chernobyl dan Fukushima memiliki dampak lingkungan yang signifikan, dengan peningkatan kanker tiroid pada individu yang terpapar di Chernobyl dan tindakan cepat evakuasi dan pemutusan rantai makanan di Fukushima membantu mengurangi dampak kesehatan. Radon adalah gas radioaktif alami yang berasal dari peluruhan uranium di tanah, dan batuan. Menurut (N.Finahari, HS, & Susiati, 2017) selain radon, gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari pertambangan batu bara juga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, berupa pencemaran udara dan dapat menyebabkan paparan radioaktivitas akibat polutan radioaktif yang terkandung didalamnya. Unsur radioaktif yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang mengandung zat radioaktif alam yaitu uranium, thorium, radium. Zat-zat tersebut berbentuk partikulat yang keluar melalui cerobong asap atau mengendap bersama abu. Partikulat yang keluar bersama abu, akan menyebar melalui udara yang dapat menyebabkan kualitas penurunan udara. Reaksi pembakaran yang terjadi pada batu bara sebagai berikut :



Beberapa dampak lingkungan juga yaitu proses pengolahan sumber daya alam seperti tambang dan pemrosesan dapat menyebabkan terkonsentrasinya unsur radioaktif alamiah pada limbah yang dihasilkan. Hal ini dapat berdampak negatif pada lingkungan sekitar. Kontaminasi Udara; Debu yang dihasilkan dari proses penanganan TENORM dapat mencemari udara dan lingkungan sekitar. Kontaminasi udara ini dapat membahayakan kesehatan pekerja dan masyarakat yang tinggal di sekitar area penyimpanan. Paparan radiasi yang berlebihan dari TENORM yang tidak ditangani dengan benar dapat berdampak negatif pada lingkungan hidup dan makhluk hidup di sekitarnya. Oleh karena itu, penanganan TENORM harus memperhatikan aspek proteksi radiasi untuk melindungi lingkungan (Tuka & Dewi, 2016).

Sementara itu, menurut (Luhar, et al., 2023) ada beberapa langkah untuk meminimalisir dampak dari penanganan limbah radioaktif yang dibahas dalam jurnal ini yaitu :

1. Pengembangan Teknologi Solidifikasi/Stabilisasi yang Efektif: Mengembangkan teknologi solidifikasi/stabilisasi yang efektif untuk mengubah limbah radioaktif menjadi bentuk yang aman dan tidak mudah tersebar ke lingkungan.
2. Pengurangan Volume Limbah: Melakukan penelitian untuk mengurangi volume limbah radioaktif yang dihasilkan selama proses solidifikasi, sehingga dapat mengurangi biaya disposisi limbah dan mengurangi penggunaan fasilitas penyimpanan.
3. Penerapan Multiple Barriers untuk Penyimpanan: Mengadopsi konsep "multiple barriers" dalam penyimpanan limbah radioaktif untuk memastikan tidak terjadi pelepasan signifikan ke lingkungan selama puluhan ribu tahun.

4. Pendidikan dan Pelatihan: Memberikan pendidikan dan pelatihan kepada personel yang terlibat dalam penanganan limbah radioaktif untuk memastikan prosedur penanganan yang aman dan efektif.
5. Pemantauan dan Pengawasan Rutin: Melakukan pemantauan dan pengawasan rutin terhadap fasilitas penyimpanan limbah radioaktif untuk memastikan keamanan dan mencegah kebocoran atau pelepasan yang tidak diinginkan.
6. Kolaborasi Internasional: Berkolaborasi dengan lembaga internasional seperti International Atomic Energy Agency (IAEA) untuk mengembangkan standar global dalam pengelolaan limbah radioaktif dan berbagi praktik terbaik dalam penanganan limbah radioaktif.

Menurut (Makmur, Prihatiningsih, & Yahya, 2019) ada beberapa langkah yang dapat diambil untuk meminimalisir dampak potensial dari radiasi:

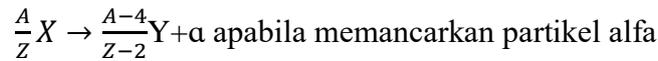
1. Pemantauan Terus-Menerus: Meskipun nilai rata-rata saat ini berada dalam batas yang aman, penting untuk terus memantau aktivitas radionuklida di wilayah tersebut secara berkala. Hal ini akan membantu dalam mendeteksi perubahan atau peningkatan nilai konsentrasi aktivitas yang bisa terjadi di masa depan.
2. Penyelidikan Lanjutan : Jika terdapat daerah atau titik tertentu di sekitar Pulau yang menunjukkan nilai konsentrasi aktivitas yang lebih tinggi dari rata-rata, disarankan untuk melakukan penapisan radiologis lebih lanjut. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa tidak ada risiko kesehatan yang terkait dengan paparan radiasi di daerah tersebut.
3. Pendidikan Masyarakat: Memberikan informasi yang jelas dan tepat kepada masyarakat setempat tentang hasil penelitian ini. Hal ini akan membantu meningkatkan kesadaran mereka terhadap radiasi dan langkah-langkah yang diambil untuk memastikan keamanan mereka.
4. Kolaborasi dengan Pemerintah dan Otoritas Terkait: Penting untuk melibatkan pemerintah daerah dan otoritas terkait dalam memastikan implementasi pengawasan radiasi yang efektif dan pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Ini termasuk dalam hal pengaturan limbah radiologis dan pemantauan lingkungan secara keseluruhan.
5. Edukasi Petugas Lapangan: Petugas yang terlibat dalam pengambilan sampel dan analisis radiologis juga perlu mendapatkan pelatihan dan edukasi yang memadai. Hal ini akan memastikan bahwa pengambilan sampel dilakukan dengan benar dan aman, serta analisis radiologis dilakukan secara tepat.

#### **b. Dampak pada Kesehatan**

Ada beberapa unsur radioaktif alam yang berperan sebagai sumber radiasi internal antara lain:  $^3\text{H}$  (tritium, T),  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ , dan lain-lain. Sebanyak 99%  $^3\text{H}$  yang terbentuk di atmosfer akan langsung berubah menjadi HTO, yaitu molekul air yang salah satu atom H-nya diganti oleh T. Tritium dapat masuk ke dalam tubuh melalui jalur makanan, pernapasan maupun minuman dalam bentuk HTO. Sebelumnya adanya percobaan senjata nuklir, kadar T dalam air permukaan sebesar  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Untuk T yang terbentuk secara alamiah, jumlah totalnya di atmosfer dalam keadaan seimbang mencapai 100 MCi. Tritium memberikan sumbangan terimaan dosis oleh manusia sebesar  $0,01 \mu\text{Sv/tahun}$ .

Peluruhan radioaktif adalah transmudasi inti dengan sendirinya tanpa ditumbuk partikel, dengan disertai memancarnya zat radioaktif  $\alpha$ , ataupun  $\beta$  beserta radiasi  $\gamma$ . Peluruhan dari inti dengan tenaga E dan laju peluruhan yang dinyatakan oleh umur paro  $T_{1/2}$ , tertentu, yang

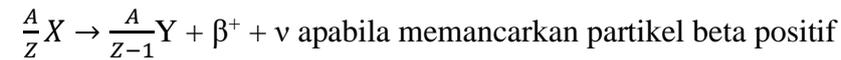
tergantung pada jenis unsur inti yang meluruh, serta tidak dipengaruhi oleh keadaan sekitarnya. Tiap inti memiliki tenaga dan konstanta peluruhan yang berbeda. Secara umum peluruhan radioaktif unsur X dapat di tulis sebagai berikut:



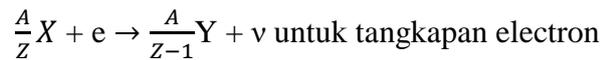
(1)



(2)



(3)



(4)

Sumber radiasi yang ada pada organ tubuh sebenarnya akan bereaksi apabila diperlukan, namun ketika tidak diperlukan maka akan dibuang. Keterikatan unsur radioaktif dengan organ tubuh ini disebabkan oleh unsur itu sendiri, memiliki sifat kimia yang sama dan unsur yang stabil. Dalam unsur radioaktif ini muncul yang namanya dampak radiokativitas pada kesehatan organ-organ tubuh, seperti halnya polusi udara dan terbukti adanya masalah kesehatan yang serius pada pernafasan, ini memicu adanya partikel-partikel kecil yang meresap ke dalam paru-paru dan bahkan masuk ke aliran darah sehingga menyebabkan penyakit asma, bronkitis, dan pneumonia.

Dengan demikian, pemahaman yang mendalam mengenai sumber, penyebaran, dan dampak radioaktivitas sangat penting dalam upaya perlindungan lingkungan dan kesehatan masyarakat. Upaya identifikasi dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia menjadi krusial untuk mengimplementasikan langkah-langkah mitigasi yang efektif. Melalui pemantauan kualitas udara, pemahaman terhadap teknologi solidifikasi/stabilisasi limbah radioaktif, serta peningkatan kesadaran masyarakat akan risiko radioaktivitas, diharapkan dapat mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan. cara meminimalisir dampak dari polusi udara pada kesehatan adalah sebagai berikut:

- a) Menggunakan transportasi berkelanjutan: mengurangi penggunaan kendaraan bermotor pribadi dan beralih ke transportasi umum, sepeda, atau berjalan kaki dapat mengurangi pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi gas buang.
- b) Peningkatan industri bersih: industri dapat mengadopsi teknologi ramah lingkungan dan mengurangi dampak polusi dengan cara mematuhi regulasi emisi yang ketat.
- c) Pemantauan kualitas udara: diperlukan bagi pemerintah dan lembaga melakukan pemantauan udara secara rutin agar dapat mengukur kualitas udara dan mengambil tindakan apabila terjadi kelebihan dalam ambang batas yang ditetapkan.
- d) Pendidikan dan kesadaran masyarakat: dengan edukasi yang menjelaskan tentang dampak polusi udara bagi kesehatan itu sangat penting dalam meningkatkan kesadaran masyarakat.

Dengan melakukan langkah-langkah ini, kita dapat meminimalkan dampak buruk yang disebabkan oleh polusi udara terhadap kesehatan dan menciptakan lingkungan yang sehat dan bersih serta untuk generasi yang akan datang.

## SIMPULAN

Radioaktivitas merupakan isu kritis yang berdampak signifikan pada lingkungan dan kesehatan manusia, terutama dengan meningkatnya paparan terhadap sumber-sumber radioaktif baik yang alami maupun buatan. Pada lingkungan paparan bahan radioaktif dapat menyebabkan pencemaran udara, tanah, dan air, serta berpotensi merusak ekosistem dan keseimbangan lingkungan. Polusi bahan radioaktif dapat mengakibatkan jutaan kematian.. Dalam konteks kesehatan, melalui paparan radiasi dapat meningkatkan risiko penyakit serius seperti kanker dan gangguan genetik lainnya. Selain itu, aktivitas manusia seperti industri dan penggunaan teknologi juga berkontribusi pada peningkatan paparan radiasi di lingkungan. Upaya identifikasi dampak radioaktivitas pada lingkungan dan kesehatan manusia menjadi krusial untuk mengimplementasikan langkah-langkah mitigasi yang efektif. Melalui pemantauan kualitas udara, pemahaman terhadap teknologi solidifikasi/stabilisasi limbah radioaktif, serta peningkatan kesadaran masyarakat akan risiko radioaktivitas, diharapkan dapat mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucaapan terima kasih kami sampaikan kepada Ibu Chairatul Umamah M.Pd, dosen mata kuliah Fisika Modern pada Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Islam Madura, serta seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Dukungan dan bantuan yang diberikan sangat berharga sehingga pelaksanaan penelitian ini dapat berjalan dengan baik. Semoga kerjasama ini dapat terus terjalin dan bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan serta pendidikan kedepannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, & Murniati. (2023, November). Studi Radon (Rn-222) dalam Lingkungan: Pembentukan, Paparan, dan Dampaknya Bagi Manusia. *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika*, 4(2), 131-142.
- Aryanta, W. R., & Maharani, S. E. (2023). Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan Dan Cara Meminimalkan Resikonya. *Jurnal Ecocentrism*, 3(2), 48.
- Cepi Hikmat, M. c. (2020). Evaluasi Radiasi Lingkungan Pada Pemanfaatan Tenaga Nuklir di Kawasan Nuklir Serpon. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi dan Pendayagunaan Teknologi Nuklir 2020*, (pp. 107-114). Serpong.
- Fayanto, S., Yanti, Pati, S., Suwardi, E., Afiudin, A., Uleo, H. H., & Ningsih, S. A. (2016). Peluruhan Zat Radioaktif. *Jurnal Praktikum Fisika Modern*.
- Hamilton, D. M. (2021). mersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative. *journal of computers in Education*, 8(1), 1-32.
- Luhar, I., Luhar, S., Abdullah, M. A., Sandru, A. v., vizureanu, p., Razaq, R. A., . . . imjai, t. (2023). Solidification/Stabilization Technology for Radioactive Wastes Using Cement: An Appraisal. *Materials (Basel, Switzerland)*, 13(1), 954. doi:https://doi.org/10.3390/ma16030954
- Makmur, M., Prihatiningsih, W. R., & Yahya, M. N. (2019). Penilaian Dampak Bahaya Radiologis Terhadap Radionuklida Natural di Pesisir Pulau Bengkalis. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 18(2), 114-120.

- Malaka, M. (2019). Dampak radiasi radioaktif terhadap kesehatan. *Jurnal Kajian Pendidikan Keislaman*, 199-211.
- Natarajan, V., Karunanidhi, M., & Raja, B. (2020). A critical review on radioactive waste management through biological techniques. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 29812–29823. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08404-0>
- N.Finahari, I., HS, D., & Susiati, H. (2017). Gas CO<sub>2</sub> Dan Polutan Radioaktif Dari PLTU BatuBara. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 9(1), 2.
- Nistrina, K. (2021). Penerapan Augmented Reality Dalam Media Pembelajaran . *Jurnal Sistem Informasi*, 3(1), 1-6.
- Rahayu, R. S., Romadhina, H. A., & siti, Z. (2021). Bahaya Pembuangan Limbah Nuklir Di Jepang Pada Spesies Ikan Tuna Sirip Biru . *jurnal pengelolaan sumberdaya alam lingkungan wilayah pesisir*, 54-60.
- Rosilawati, N. E., Nasution, I., & Murni, T. W. (2017). Penggunaan Radiofarmaka Untuk Diagnosa Dan Terapi Di Indonesia Dan Asas Keamanan Penggunaan Obat. *SOEPRA Jurnal Hukum Kesehatan*, 3(1), 64-73.
- Sari, N. R., Alfiaturrohman, H., & Sudarti, S. (2023). Analisis Dampak Radiasi Oleh Pltn Terhadap Populasi Organisme Di Laut. *Eduproxima: Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA*, 5(2), 73–81. <https://doi.org/10.29100/v5i2.4154>
- Septiwi, B. P., 'Aini, S. F., Azzahra, C. Z., Syifa, F., & Rahardiyanti, A. N. (2021). Bahaya Sinar Radiasi Bagi Kesehatan Mata.
- Stenke, L., Hedman, C., Lagergren Lindberg, M., Lindberg, K., & Valentin, J. (2022). The acute radiation syndrome—Need for updated medical guidelines. *Journal of Radiological Protection*, 42(1), 014004. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac4ac6>
- Sudaryanto , S., Prasetyawati, N. D., Sinaga, E., & Muslikah. (2022). Socialization Of The Impact Of Air Pollution On Health Disorders Comfort And The Environment. *Midwifery Science Session*, 1(1).
- Thomas, G. A., & Symonds, P. (2016). Radiation Exposure and Health Effects - is it Time to Reassess the Real Consequences?. *Clinical oncology (Royal College of Radiologists (Great Britain))*, 4, 231-236. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clon.2016.01.007>
- Tuka, V., & Dewi, M. K. (2016). *Petugas Proteksi Radiasi Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material (Tenorm)*.
- Tyas, F. A., & Yulistiani, R. (2023). Potential Effects of Japanese Nuclear Waste in Fukushima on Fish Organs in the Sea of Potential Effects of Japanese Nuclear Waste in Fukushima on Fish Organs in the Sea of japan. *Jurnal Agricultural Science*, 18(2), 35-40.
- Yushardi, Y., Sudarti, S., & Hamdi, M. N. (2022). Potensi Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Telepon Seluler Terhadap Kesehatan. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*, 316–322. <https://doi.org/10.35816/jiskh.v11i2.759>
- Zettira, T., & Yudhastuti, R. (2022). Perbedaan Polutan Penyebab Polusi Udara Dalam Ruangan Pada Negara Maju dan Berkembang: Literature Review. *Media Gizi Kesmas*, 11(2), 627.