

## *Potential Effects of Japanese Nuclear Waste in Fukushima on Fish Organs in the Sea of Japan*

### **Potensi Pengaruh Limbah Nuklir Jepang Di Fukushima Pada Organ Ikan Di Laut Jepang**

**Firda Ayuning Tyas<sup>1</sup>, Riska Yulistiani<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi S1 Tadris IPA, Fakultas Tarbiyah, Institut Agama Islam Negeri Kediri, Indonesia

\*Corresponding author : [firdaayuningtyass@gmail.com](mailto:firdaayuningtyass@gmail.com)

**ABSTRACT.** This research aims to investigate the effects of Fukushima nuclear waste on fish organs in the Japanese sea, particularly concerning the relationship between pollution levels and their impact on marine organisms. Through a scientific literature analysis, the findings indicate a positive correlation between contamination levels and the accumulation of radioactive compounds in fish organs. Marine organisms, especially those exposed to high contamination levels, tend to experience adverse effects on vital organs such as the liver, kidneys, and gills. The radiation's impact poses a high risk to the marine environment, especially for organisms at higher trophic levels with a greater potential for contamination. Beyond ecological impacts, this also affects economic and social aspects, posing threats to the fishing industry and the well-being of communities. The study underscores the need for international cooperation in addressing cross-border challenges posed by nuclear waste and calls for further research to deepen our understanding of the impacts and determinants involved. Overall, this research makes a significant contribution to efforts to protect the marine environment and sustain marine ecosystems amidst global challenges associated with nuclear activities.

**Keywords :** *Waste, Environment, Japan, Nuclear*

## **PENDAHULUAN**

Jepang, sebagai salah satu negara paling maju di dunia, telah menghadapi tantangan besar dalam mengelola sumber daya energinya. Sejak pertengahan abad ke-20, negara ini telah bergantung pada energi nuklir sebagai salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhannya yang terus meningkat. Pada awalnya, langkah ini dianggap sebagai langkah maju dalam upaya mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi fosil yang terbatas. Namun, peristiwa tragis pada tahun 2011, yaitu kecelakaan nuklir Fukushima Daiichi, membalikkan pandangan ini. Kecelakaan tersebut tidak hanya mengakibatkan kehancuran fisik yang signifikan, tetapi juga menyebabkan pelepasan besar-besaran bahan radioaktif ke lingkungan sekitarnya. Kecelakaan Fukushima menjadi titik balik penting dalam sejarah penggunaan energi nuklir di Jepang. Selain merugikan secara langsung, kecelakaan ini juga memunculkan pertanyaan etis dan ekologis yang mendalam tentang dampak jangka panjang pada lingkungan laut. Bahan radioaktif yang dilepaskan ke laut menciptakan lingkungan yang terkontaminasi dan memicu keprihatinan tentang dampaknya pada organisme laut, termasuk ikan yang merupakan sumber daya pangan utama masyarakat Jepang.

Keistimewaan ekosistem Laut Jepang menambah dimensi yang penting pada konteks penelitian ini. Lingkungan laut di sekitar Jepang bukan hanya dikenal dengan keragaman hayati yang tinggi, tetapi juga sebagai sumber daya alam yang sangat vital bagi kelangsungan hidup masyarakat Jepang. Ikan, sebagai komponen integral dalam ekosistem laut, memainkan peran yang krusial dalam menjaga keseimbangan ekologi dan menyediakan sumber daya pangan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan lokal, melainkan juga menjadi bagian penting dalam ekspor. Dalam kerangka ini, pemahaman yang mendalam mengenai dampak limbah nuklir Jepang pada organ ikan menjadi sangat penting. Organisme laut, terutama ikan, berada pada posisi yang kritis dalam rantai makanan, dan dampaknya dapat dirasakan oleh manusia yang mengonsumsinya. Oleh karena itu, latar belakang penelitian ini dengan cermat menguraikan perubahan dalam lingkungan laut Jepang setelah kecelakaan nuklir, dengan penekanan khusus pada tingkat kontaminasi dan penyebaran limbah nuklir.

Kecelakaan nuklir Fukushima tidak hanya memunculkan kekhawatiran tentang keselamatan nuklir, tetapi juga meningkatkan kesadaran publik akan pentingnya pelestarian lingkungan. Masyarakat Jepang, yang sejak lama bergantung pada laut sebagai sumber kehidupan, menjadi semakin peduli terhadap dampak limbah nuklir pada organ ikan yang menjadi bagian tak terpisahkan dari budaya kuliner mereka. Secara keseluruhan, latar belakang penelitian ini memberikan gambaran komprehensif tentang kompleksitas masalah yang dihadapi oleh Jepang setelah kecelakaan nuklir Fukushima. Dengan memerinci sejarah penggunaan energi nuklir, kecelakaan beserta dampaknya, serta konteks ekologis dan sosialnya, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pemahaman kita tentang potensi pengaruh limbah nuklir pada organ ikan di Laut Jepang.

Fakta yang ada adalah bahwa laut sering digunakan sebagai tempat pembuangan limbah nuklir dan limbah radioaktif berupa zat serta barang-barang yang telah terpapar radioaktif dalam aktivitas nuklir. Zat radioaktif dan barang-barang bekas tersebut kemudian menjadi limbah yang tidak lagi digunakan. Limbah nuklir ini mengandung zat radioaktif dengan tingkat peluruhan yang sangat lambat, yang berpotensi membahayakan perairan global, termasuk perairan Indonesia, karena dapat diangkut oleh arus laut. Karena sifat zat radioaktif yang memiliki waktu paruh yang lama, jika dilepaskan ke dalam laut, zat tersebut akan mengikuti arus. Apabila sampai ke perairan Indonesia, perairan ini dapat terkontaminasi oleh zat radioaktif tersebut. Dampak dari kontaminasi ini bersifat akumulatif, yang berarti dampaknya baru akan terlihat setelah beberapa tahun, seperti 5, 10, bahkan 20 tahun ke depan. Akumulasi ini umumnya terjadi pada makhluk laut yang berada dalam rantai makanan.

## **METODE PENELITIAN**

Desain penelitian yang diambil dalam penelitian ini adalah pendekatan studi literatur yang komprehensif. Keputusan untuk menggunakan studi literatur sebagai metode penelitian dipertimbangkan dengan cermat karena keunikan topik yang melibatkan potensi pengaruh limbah nuklir pada organ ikan di Laut Jepang. Desain ini memungkinkan kami untuk mengeksplorasi kerangka konseptual yang sudah ada, merinci temuan penelitian sebelumnya. Melalui pendekatan studi literatur yang cermat, penelitian ini berharap dapat menghasilkan pemahaman yang mendalam tentang potensi pengaruh limbah nuklir pada organ ikan di Laut Jepang. Dengan merinci desain penelitian, identifikasi limbah nuklir, dan analisis studi literatur secara sistematis, penelitian ini akan memberikan landasan yang kuat bagi langkah-langkah selanjutnya dalam penelitian ini. Peneliti mengutip dari berberapa jurnal dari platform online NIH, Google Scholar, dan Pubmed, peneliti juga menggunakan bantuan AI (ChatGPT) dalam pengerjaan artikel ini.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Keputusan Jepang untuk membuang limbah nuklir Fukushima telah menjadi isu yang kontroversial dan menimbulkan keprihatinan tidak hanya di tingkat domestik, tetapi juga memunculkan pertanyaan serius tentang dampaknya terhadap lingkungan, khususnya pada organisme laut di Laut Jepang. Tindakan ini melibatkan pelepasan air yang digunakan untuk mendinginkan reaktor nuklir yang rusak ke dalam laut, yang mengandung berbagai senyawa radioaktif. Dalam konteks ini, pertanyaan tentang bagaimana dampaknya terhadap organisme laut di Laut Jepang menjadi sangat penting, mengingat pentingnya peran ikan sebagai sumber utama protein bagi masyarakat Jepang dan sebagai organisme kunci dalam ekosistem laut.

Pelepasan limbah nuklir ke dalam Laut Jepang berpotensi memiliki dampak besar pada organisme laut, termasuk ikan. Radiasi dari senyawa radioaktif seperti cesium-137 dan stronsium-90 dapat diserap oleh organisme laut, termasuk ikan, dan secara perlahan mengakumulasi dalam rantai makanan. Organ-organ ikan seperti hati, ginjal, dan insang sangat rentan terhadap paparan radiasi ini, yang dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam struktur dan fungsi mereka. Beberapa penelitian ilmiah telah menunjukkan bahwa ikan yang terpapar radiasi dapat mengalami perubahan histologis pada organ-organ tersebut, yang memiliki potensi dampak negatif pada kesehatan dan kelangsungan hidup mereka.

Selain itu, dampak radiasi pada organ ikan juga dapat mempengaruhi reproduksi dan pertumbuhan populasi ikan. Radiasi dapat merusak sel-sel reproduksi dan menyebabkan mutasi genetik, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi keseimbangan populasi ikan di ekosistem laut. Ini merupakan ancaman serius terhadap keberlanjutan sumber daya ikan, mengingat pentingnya ikan dalam menyediakan sumber daya pangan bagi masyarakat Jepang dan ekonomi kelautan secara keseluruhan. Pentingnya melibatkan faktor-faktor penentu dalam mengevaluasi dampak limbah nuklir pada organ ikan juga menjadi sangat nyata. Lamanya paparan ikan terhadap lingkungan terkontaminasi, jenis limbah nuklir yang dilepaskan, dan faktor-faktor ekologis seperti arus laut dan karakteristik geologi laut, semuanya memainkan peran penting dalam menentukan sejauh mana organ ikan dapat terpengaruh oleh limbah nuklir tersebut.

## **Pengaruh Limbah Nuklir pada Organ Ikan**

Dampak limbah nuklir pada organ ikan merupakan aspek penelitian yang sangat kompleks dan esensial dalam bidang ekologi dan ilmu lingkungan. Dampak tersebut mencakup perubahan struktur dan fungsi organ, serta respons adaptasi organisme terhadap tekanan radiasi dan zat radioaktif yang dilepaskan ke lingkungan. Dengan melakukan penelitian ilmiah yang mendalam, kita dapat lebih memahami bagaimana ikan, yang memiliki peran kunci dalam ekosistem laut, mengatasi paparan limbah nuklir. Fokus utama dalam mengevaluasi efek limbah nuklir adalah perubahan dalam struktur dan fungsi organ ikan. Organisme laut, termasuk ikan, memiliki organ vital seperti hati, ginjal, dan insang yang sangat sensitif terhadap radiasi. Penelitian ilmiah yang teliti telah mengungkapkan bahwa paparan radionuklida dapat mengakibatkan perubahan histologis dan morfologis pada organ-organ tersebut. Sebagai contoh, pada tingkat seluler, penelitian menunjukkan kerusakan struktural pada jaringan hati dan ginjal ikan yang terpapar radiasi. Perubahan ini melibatkan penurunan jumlah sel, degenerasi jaringan, dan modifikasi pada tingkat sel yang mungkin berdampak pada fungsi organ tersebut.

Tidak hanya pada tingkat organ, tetapi dampak limbah nuklir juga dapat memengaruhi fungsi fisiologis organisme laut. Sebagai contoh, perubahan pada organ insang dapat mempengaruhi kemampuan ikan untuk mengambil oksigen dari air. Paparan radionuklida dapat mengakibatkan perubahan pada struktur filamen insang, mengganggu proses pertukaran gas dan menghambat kemampuan ikan untuk bernapas. Selain itu, perubahan pada hati dan ginjal dapat menghambat fungsi metabolisme dan detoksifikasi, yang dapat berdampak pada kesehatan dan kelangsungan hidup ikan. Namun, organisme laut, termasuk ikan, memiliki kemampuan untuk beradaptasi terhadap tekanan lingkungan, termasuk paparan limbah nuklir. Reaksi adaptasi ini mencakup serangkaian mekanisme yang dapat membantu organisme bertahan hidup dan mempertahankan fungsi biologisnya. Salah satu mekanisme adaptasi yang diidentifikasi dalam literatur ilmiah adalah peningkatan aktivitas enzim antioksidan pada organisme laut yang terpapar radiasi. Enzim-enzim ini membantu melawan efek oksidatif dari radiasi, membantu melindungi sel-sel dari kerusakan dan mengurangi dampak negatif pada organ-organ vital.

Selain itu, beberapa studi menunjukkan bahwa organisme laut, termasuk ikan, dapat mengalami perubahan perilaku sebagai respons terhadap paparan limbah nuklir. Ini termasuk perubahan dalam pola migrasi, kebiasaan makan, dan reproduksi. Beberapa spesies ikan dapat menyesuaikan rute migrasinya untuk menghindari daerah yang terkontaminasi atau memilih makanan yang memiliki tingkat kontaminasi yang lebih rendah. Dalam hal reproduksi, beberapa penelitian menunjukkan bahwa ikan dapat mengalami perubahan dalam tingkat reproduksi dan kesuburan sebagai respons terhadap stres lingkungan, termasuk paparan radiasi. Pentingnya faktor-faktor ekologis dan biologis dalam reaksi adaptasi terhadap limbah nuklir juga tergambar jelas dalam literatur ilmiah. Spesies ikan yang berbeda dapat menunjukkan tingkat adaptasi yang berbeda tergantung pada faktor-faktor seperti tingkat paparan, durasi paparan, dan kondisi lingkungan sekitar. Selain itu, perbedaan dalam jenis limbah nuklir, seperti jenis radionuklida dan tingkat keberacunan, juga dapat mempengaruhi sejauh mana ikan dapat beradaptasi terhadap paparan tersebut.

Dalam konteks lingkungan laut yang semakin kompleks dan berubah, pemahaman dampak limbah nuklir pada organ ikan memerlukan penelitian yang terus-menerus dan interdisipliner. Integrasi data dari berbagai disiplin ilmu seperti biologi, ekologi, dan fisika lingkungan diperlukan untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang dampak ini. Penelitian ini tidak hanya penting untuk pemahaman fundamental tentang ekologi organisme laut, tetapi juga memiliki implikasi yang signifikan dalam pengelolaan sumber daya laut dan perlindungan lingkungan. Dengan terus menggali pengetahuan tentang bagaimana limbah nuklir memengaruhi organ ikan, kita dapat

mengambil langkah-langkah lebih lanjut dalam mengelola dan meminimalkan dampak negatifnya. Peningkatan pemahaman ini juga dapat membantu merumuskan kebijakan lingkungan yang lebih efektif dan berkelanjutan, serta mengembangkan strategi perlindungan yang lebih baik bagi organisme laut, termasuk ikan, dalam menghadapi tantangan limbah nuklir di Laut Jepang dan perairan dunia lainnya.

### **Faktor-faktor penentu Pengaruh Limbah Nuklir**

Faktor-faktor penentu dalam pengaruh limbah nuklir mencakup sejumlah variabel yang kompleks dan saling terkait. Dua faktor kunci yang memainkan peran sentral dalam menentukan dampak limbah nuklir adalah konsentrasi limbah dan lamanya paparan terhadap lingkungan terkontaminasi. Analisis mendalam terhadap kedua faktor ini diperlukan untuk memahami sejauh mana limbah nuklir dapat mempengaruhi organisme laut, terutama ikan, dan ekosistem laut secara keseluruhan. Konsentrasi limbah nuklir menjadi faktor utama yang menentukan tingkat paparan dan dampak pada lingkungan. Konsentrasi ini mencakup jumlah senyawa radioaktif yang dilepaskan ke lingkungan, seperti cesium-137, stronsium-90, dan jenis radionuklida lainnya. Konsentrasi limbah ini dapat bervariasi tergantung pada sumber limbah, jenis kegiatan nuklir, dan faktor-faktor geologis dan hidrologis. Misalnya, instalasi nuklir atau situs kecelakaan nuklir akan menghasilkan konsentrasi limbah yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang tidak terpengaruh oleh kegiatan nuklir.

Tingkat konsentrasi limbah juga sangat mempengaruhi tingkat akumulasi dalam jaringan makanan laut. Organisme laut, termasuk ikan, dapat menyerap radionuklida dari air dan makanan yang mereka konsumsi. Oleh karena itu, semakin tinggi konsentrasi limbah, semakin besar kemungkinan organisme laut terpapar dan mengakumulasi senyawa radioaktif. Studi ilmiah menunjukkan bahwa ikan yang hidup di perairan dengan konsentrasi limbah yang tinggi cenderung memiliki tingkat kontaminasi yang lebih tinggi dalam jaringan makanan, memperkuat urgensi pemahaman tentang konsentrasi limbah sebagai faktor penentu utama. Lamanya paparan terhadap lingkungan terkontaminasi adalah faktor kedua yang memiliki dampak signifikan. Dalam hal limbah nuklir, lamanya paparan mencakup periode waktu ketika organisme laut terpapar pada tingkat tertentu dari senyawa radioaktif dalam lingkungan mereka. Lamanya paparan ini dapat bervariasi mulai dari paparan singkat hingga paparan jangka panjang, dan memiliki implikasi langsung terhadap seberapa besar organisme laut dapat beradaptasi atau mengalami dampak radiasi.

Organisme laut yang terpapar radiasi dalam jangka panjang memiliki potensi akumulasi senyawa radioaktif dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan organisme yang hanya terpapar secara singkat. Paparan jangka panjang juga dapat meningkatkan risiko perubahan struktural dan fungsional pada organisme laut, termasuk ikan. Lamanya paparan memainkan peran krusial dalam reaksi adaptasi organisme terhadap stres radiasi dan dapat memicu mekanisme adaptasi seperti peningkatan aktivitas enzim antioksidan atau perubahan perilaku reproduksi dan migrasi. Selain itu, faktor-faktor ekologis dan biologis lainnya dapat memodifikasi dampak dari konsentrasi limbah dan lamanya paparan. Jenis ikan, lokasi geografis, pola migrasi, dan karakteristik habitat menjadi faktor penentu yang mempengaruhi sejauh mana ikan dapat mengatasi tekanan radiasi. Ikan yang memiliki pola migrasi yang luas atau menghuni wilayah yang terkena dampak langsung dari sumber limbah nuklir cenderung mengalami paparan yang lebih tinggi.

Selanjutnya, faktor-faktor fisik seperti arus laut dan kedalaman perairan juga dapat memengaruhi distribusi dan dispersi limbah nuklir. Arus laut dapat membawa limbah nuklir ke wilayah yang lebih luas, sedangkan kondisi geologis dan hidrologis seperti dasar laut yang berlumpur dapat menjadi tempat akumulasi limbah nuklir. Oleh karena itu, pemahaman yang lebih mendalam tentang faktor-faktor ekologis dan geologis ini penting untuk memprediksi dan mengukur dampak limbah nuklir pada organisme laut, khususnya ikan. Dalam rangka memahami pengaruh limbah nuklir pada organ ikan, perlu dilakukan penelitian lintas-disiplin yang melibatkan ilmuwan kelautan, ahli nuklir, dan ahli ekologi. Integrasi data dari berbagai disiplin ilmu ini diperlukan untuk merinci dan memahami faktor-faktor penentu dengan cara yang holistik. Hanya melalui pendekatan komprehensif ini kita dapat mengembangkan pemahaman yang lebih mendalam tentang dampak limbah nuklir pada organisme laut dan lingkungan laut secara umum. Upaya ini juga menjadi kunci dalam merumuskan kebijakan lingkungan yang efektif dan berkelanjutan untuk melindungi organisme laut, terutama ikan, dari dampak limbah nuklir yang merugikan.

### **Diskusi Temuan**

Diskusi temuan dalam konteks korelasi antara tingkat pencemaran dan efek pada organ ikan membawa kita pada pemahaman mendalam tentang dampak limbah nuklir pada ekosistem laut dan implikasinya terhadap keberlanjutan lingkungan. Dalam penelitian ilmiah yang cermat, korelasi ini dapat memberikan wawasan tentang hubungan kompleks antara tingkat kontaminasi lingkungan dan respons organisme laut, khususnya ikan, yang mencerminkan sejauh mana keberlanjutan ekosistem laut dapat terancam. Pertama-tama, temuan penelitian menyoroti adanya korelasi positif antara tingkat pencemaran dan akumulasi senyawa radioaktif pada organ ikan. Ikan yang hidup di perairan dengan tingkat pencemaran yang lebih tinggi cenderung menunjukkan tingkat kontaminasi organ yang lebih tinggi, mengindikasikan bahwa lingkungan yang terkontaminasi menjadi sumber utama paparan senyawa radioaktif. Data ini menggambarkan bahwa tingkat pencemaran memainkan peran utama dalam menentukan seberapa besar senyawa radioaktif dapat masuk ke organisme laut, dan oleh karena itu, mempengaruhi sejauh mana dampaknya terhadap organ ikan.

Selanjutnya, korelasi ini memberikan gambaran tentang bagaimana tingkat kontaminasi dapat memengaruhi struktur dan fungsi organ ikan. Organisme laut, termasuk ikan, dapat merespons peningkatan tingkat radiasi dengan perubahan histologis pada organ-organ vital seperti hati, ginjal, dan insang. Peningkatan konsentrasi senyawa radioaktif dalam jaringan makanan laut juga mengindikasikan bahwa organisme laut di atas ikan dalam rantai makanan mungkin mengalami dampak yang lebih besar. Ini menciptakan dasar pemahaman untuk mengukur sejauh mana dampak radiasi pada organisme laut, dan khususnya pada organ ikan yang memiliki peran penting dalam rantai makanan dan ekosistem laut. Implikasi dari temuan ini sangat penting untuk keberlanjutan lingkungan laut. Organisme laut, termasuk ikan, bukan hanya indikator sensitif dari kondisi lingkungan, tetapi juga sumber daya vital bagi manusia dan ekosistem laut. Ketidakseimbangan atau kerusakan pada organ ikan dapat mengancam stabilitas populasi ikan, menyebabkan penurunan produksi ikan yang dapat mengganggu rantai makanan laut dan berdampak pada sumber daya pangan dan keberlanjutan ekosistem laut secara keseluruhan.

Dampak kesehatan organ ikan juga memiliki konsekuensi ekonomi dan sosial yang signifikan. Jika tingkat kontaminasi dan kerusakan organ ikan mencapai tingkat yang mengkhawatirkan, ini dapat merugikan industri perikanan yang bergantung pada keberlanjutan sumber daya ikan. Dengan demikian, korelasi antara tingkat pencemaran dan dampak pada organ ikan memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang kerentanan ekonomi dan sosial masyarakat yang bergantung pada sumber daya laut. Selanjutnya, temuan ini memunculkan pertanyaan kritis tentang keberlanjutan dan langkah-langkah mitigasi yang dapat diambil untuk melindungi organisme laut dan ekosistem laut dari dampak limbah nuklir. Keberlanjutan lingkungan laut memerlukan pemahaman yang holistik tentang sirkulasi limbah nuklir, distribusi dalam rantai makanan laut, dan respons organisme laut. Implementasi kebijakan yang efektif dan sistem pengelolaan yang berkelanjutan juga menjadi sangat penting untuk memitigasi tingkat pencemaran dan menjaga keberlanjutan ekosistem laut.

Dalam konteks ini, perlunya upaya internasional dan kolaborasi menjadi semakin jelas. Limbah nuklir tidak mengenal batas negara, dan dampaknya dapat meluas melampaui wilayah geografis tempat limbah tersebut dihasilkan. Kesepakatan dan kerja sama internasional dalam pengelolaan limbah nuklir dapat memberikan solusi lebih efektif dalam menjaga keberlanjutan lingkungan laut. Pertukaran pengetahuan, teknologi, dan praktik terbaik antara negara-negara dapat membantu mengidentifikasi dan mengimplementasikan strategi yang dapat melindungi lingkungan.

## KESIMPULAN

Kesimpulan dari seluruh pembahasan di atas adalah bahwa dampak limbah nuklir pada organ ikan di Laut Jepang adalah fenomena yang kompleks dan memiliki implikasi serius terhadap keberlanjutan lingkungan laut. Korelasi yang jelas antara tingkat pencemaran dan efek pada organ ikan menyoroti urgensi pemahaman mendalam tentang bagaimana senyawa radioaktif dapat meresap ke dalam organisme laut, khususnya ikan, melalui rantai makanan. Temuan ini memberikan wawasan tentang kerentanan ekosistem laut terhadap paparan limbah nuklir, dengan organisme laut yang berada di tingkat trofik yang lebih tinggi, termasuk ikan, cenderung menunjukkan tingkat kontaminasi yang lebih tinggi. Dalam konteks keberlanjutan lingkungan laut, dampak radiasi pada struktur dan fungsi organ ikan bukan hanya masalah ekologi, tetapi juga mengancam keberlanjutan ekonomi dan sosial. Organisme laut, termasuk ikan, memiliki peran kunci dalam menyediakan sumber daya pangan dan mendukung mata pencaharian manusia. Jika organisme ini terancam atau mengalami kerusakan yang signifikan, dapat mengganggu rantai makanan laut dan mengancam stabilitas ekosistem laut secara

keseluruhan. Implikasi ini menunjukkan bahwa perlindungan organisme laut, mitigasi dampak limbah nuklir, dan penerapan kebijakan pengelolaan yang berkelanjutan menjadi krusial untuk menjaga keberlanjutan sumber daya laut.

## DAFTAR PUSTAKA

- BBC.Com. 2023. Fukushima: Apa saja yang dikhawatirkan soal pembuangan air limbah nuklir Jepang ke laut
- FTMM.Unair.ac.id. 2021. Dr. Eng. Intan Nurul Rizki, S.Si.,M.T : Kontroversi Pembuangan Limbah Nuklir Jepang ke Laut dapat diredam dengan Pengelolaan yang Efisien
- Hajriyanti N. 2022. Analisis Mengenai Keputusan Pemerintah Jepang Dalam Pembuangan Air Radioaktif Fukushima Terhadap Hukum Lingkungan Internasional
- Mawaddah, Aprilia, Maria Maya Lestari, and Ledy Diana. 2023, Analisis Hukum Terhadap Rencana Pembuangan Limbah Nuklir ke Laut Pasca Terjadinya Gempa Bumi dan Tsunami di Jepang. Birokrasi: Jurnal Ilmu Hukum dan Tata Negara, Vol. 1, No. 2,
- Meng Li, Xuedong. 2023. Legal Responses to Japan's Fukushima Nuclear Wastewater Discharge into the sea- from perspective of China's Right safeguarding strategies
- Pandi, Stevanni Thalia. 2023, Kajian Hukum Pembuangan Limbah Nuklir di Laut Menurut Hukum Lingkungan Internasional" Lex Administratum, Vol. 11, No. 1.
- The Wall Street Journal. 2023. Japan's Plan to Release Nuclear Wastewater Spurs Resistance in South Korea
- Qiang Zhang. Fang Y, Yaru C. 2023. The Predicament and Outlet of Environmental Impact Assessment Mechanism from the Perspective of Risk Society : Taking Japan's Accident – Type Nuclear Sewage Disposal as a Cut – In
- Zijian Liu. 2023. How Does Nuclear Wastewater Discharge Affect Fishery and Marine Environment : A Case Study Of Japan