

**ANALISIS KONSENTRASI DAN LAJU DOSIS ^{137}Cs
PADA *Psetodes erumei* (BLOCH SCHNEIDER, 1801) DAN *Thunnus tonggol*
(BLEEKER, 1851)**

SKRIPSI

Oleh

**SABRINA CINTA FARANI
NPM 2114221006**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**ANALISIS KONSENTRASI DAN LAJU DOSIS ^{137}Cs
PADA *Psettodes erumei* (BLOCH SCHNEIDER, 1801) DAN *Thunnus tonggol*
(BLEEKER, 1851)**

Oleh

SABRINA CINTA FARANI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Perikanan dan Kelautan
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2025**

ABSTRAK

ANALISIS KONSENTRASI DAN LAJU DOSIS ^{137}Cs PADA *Psettodes erumei* (Bloch Schneider, 1801) DAN *Thunnus tonggol* (Bleeker, 1851)

Oleh

SABRINA CINTA FARANI

Radionuklida ^{137}Cs merupakan unsur yang berbahaya karena memiliki tingkat radioaktif yang tinggi dan bersifat beracun. Penyebaran radionuklida ^{137}Cs di perairan disebabkan oleh berbagai aktivitas yang melibatkan intervensi manusia, antara lain percobaan senjata nuklir di atmosfer, kegiatan industri nuklir, dan peristiwa kecelakaan reaktor nuklir. Kontaminasi radioaktif pada produk perikanan telah meningkatkan kekhawatiran publik tentang keamanan pangan. Penelitian bertujuan untuk menganalisis konsentrasi aktivitas radionuklida ^{137}Cs , dan melakukan penilaian laju dosis menggunakan perangkat *Erica tools* pada *P. erumei* dan *T. tonggol* yang didaratkan di Pasar Muara Baru, Kec. Penjaringan, Jakarta Utara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi ^{137}Cs pada *P. erumei* dan *T. tonggol* masing-masing yaitu sebesar $0,495 \pm 0,058$ Bq/kg dan $0,246 \pm 0,045$ Bq/kg. Nilai tersebut masih sesuai dengan standar baku mutu yang diperkenankan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1031 Tahun 2011. Rata-rata konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada *P. erumei* yang berasal dari habitat demersal memiliki konsentrasi aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan *T. tonggol* yang berada di habitat pelagis. *P. erumei* dan *T. tonggol* berada pada tingkat trofik yang sama yaitu masing-masing 4.4 dan 4.5. Laju dosis internal dan eksternal yang diterima biota lebih kecil dibandingkan *screening value* sebesar $10 (\mu\text{Gy/h})^{-1}$, yang menunjukkan bahwa nilai konsentrasi maksimum radionuklida ^{137}Cs yang tidak memberikan risiko signifikan terhadap biota.

Kata kunci: ^{137}Cs , Aktivitas Konsentrasi, Laju Dosis, Ikan Sebelah, Ikan Tongkol Abu-Abu

ABSTRACT

ANALYSIS OF ^{137}Cs CONCENTRATION AND DOSE RATE IN *Psettodes erumei* (Bloch Schneider, 1801) AND *Thunnus tonggol* (Bleeker, 1851)

By

SABRINA CINTA FARANI

Radionuclide ^{137}Cs is a dangerous element because it has a high level of radioactivity and is toxic. The spread of radionuclide ^{137}Cs in waters is caused by various activities involving human intervention, including nuclear weapons testing in the atmosphere, nuclear industry activities, and nuclear reactor accidents. Radioactive contamination of fishery products has raised public concerns about food safety. The study aimed to analyze the concentration of radionuclide ^{137}Cs activity and to access the dose rate assessment using the Erica tools on *P. erumei* and *T. tonggol* landed at Muara Baru Market, Penjaringan District, North Jakarta. The results showed that the average concentration of ^{137}Cs in *P. erumei* and *T. tonggol* was 0.495 ± 0.058 Bq/kg and 0.246 ± 0.045 Bq/kg, respectively. The value is still in accordance with the quality standard permitted by the Regulation of the Minister of Health Number 1031 of 2011. The average concentration of ^{137}Cs activity in *P. erumei* originating from demersal habitats has a higher activity concentration than *T. tonggol* in pelagic habitats. *P. erumei* and *T. tonggol* are at the same trophic level, namely 4.4 and 4.5, respectively. The internal and external dose rates received by biota are smaller than the screening value of $10 (\mu\text{Gy/h})^{-1}$, which indicates that the maximum concentration value of ^{137}Cs radionuclide does not pose a significant risk to biota.

Keywords: ^{137}Cs , Concentration Activity, Dose Rate, Flatfish, Grey Mackerel

Judul Skripsi

: ANALISIS KONSENTRASI DAN LAJU
DOSIS ^{137}Cs PADA *P. ERUMEI*
(BLOCH SCHNEIDER, 1801) DAN
T. TONGGOL (BLEEKER, 1851)

Nama Mahasiswa

: Sabrina Cinta Farani

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2114221006

Program Studi

: Ilmu Kelautan

Fakultas

: Fakultas Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.
NIP. 197412122000031002

TT ELEKTRONIK

Dr. Wahyu Retno Prihatiningsih, S.Si., M.Si.
NIP. 198207122005012012

2. Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan

Munti Sarida, S.Pi., M.Sc., Ph.D.
NIP. 198309232006042001



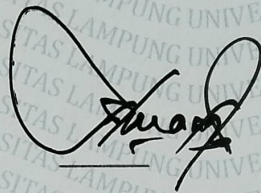
Dokumen ini ditandatangani
secara elektronik menggunakan
sertifikat dari BSI, silahkan
lakukan verifikasi pada dokumen
elektronik yang dapat diunduh
dengan melakukan scan QR Code

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si.



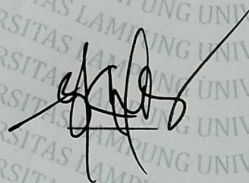
Sekretaris

: Dr. Wahyu Retno P., S.Si., M.Si.



TT ELEKTRONIK

Penguji Bukan Pembimbing : Eko Efendi, S.T., M.Si.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Dekan : Wanta Futas Hidayat, M.P.

NIP. 196411181989021002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 31 Januari 2025

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sabrina Cinta Farani

NPM : 2114221006

Judul Skripsi : Analisis Konsentrasi dan Laju Dosis ^{137}Cs pada *P.erumei* (Bloch Schneider, 1801) dan *T. Tonggol* (Bleeker, 1851)

Menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis adalah murni hasil karya sendiri berdasarkan pengetahuan dan data yang saya peroleh. Skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dari tim dosen pembimbing. Karya tulis ini belum pernah dipublikasikan sebelumnya dan bukan plagiat dari karya orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan naskah, dengan naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka. Demikian pernyataan ini saya buat, apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap bertanggung jawab.

Bandar Lampung, 16 April 2024



Sabrina Cinta Farani
NPM. 2114221006

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pringsewu pada Tanggal 15 November 2003 sebagai anak pertama dari empat bersaudara pasangan Bapak Mastang dan Ibu Benti Majayana. Penulis memulai pendidikan formal Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD) Akmal-uddin (2006-2007), Taman Kanak-Kanak (TK) Dharma Wanita (2008-2009), Sekolah Dasar (SD) Negeri 3 Kuripan (2009-2015), Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Kotaagung (2015-2018), Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Kotaagung (2018-2021). Penulis melanjutkan Pendidikan ke jenjang sarjana (S1) pada tahun 2021 di Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui Jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Kimia Dasar pada periode ganjil 2022/2023, Avertebrata Laut, dan Renang pada periode ganjil 2023/2024, Botani Laut dan Widya Selam pada periode genap 2023/2024. Penulis bergabung dalam Tim Publikasi Dekorasi dan Dokumentasi (PDD) Program Studi Ilmu Kelautan sebagai sie editor pada tahun 2023-2024. Penulis juga aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Perikanan dan Kelautan (HIMAPIK) bidang Pengabdian Masyarakat serta turut berpartisipasi

sebagai sekretaris pelaksana dalam kegiatan *Fisheries and Marine Conservation* (FIC) yang diadakan oleh Himapik pada tahun 2023. Penulis juga bergabung sebagai tim pelaksana dalam Program Penguatan Kapasitas Organisasi Kemahasiswaan (PPK Ormawa) dan lolos pendanaan KEMENDIKBUDRISTEK pada tahun 2023. Selain itu, penulis kerap mengikuti sertifikasi selam jenjang A1 *Open Water Diver* di *Scuba School International* (SSI) tahun 2023.

Beberapa kegiatan lain yang pernah dilaksanakan penulis diantaranya kegiatan magang di Seksi Pengelolaan Taman Nasional (SPTN) Wilayah II Pulau Harapan, Balai Taman Nasional Kepulauan Seribu (TKNPS) tahun 2023, kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Makarti Tama, Kecamatan Gedung Aji Baru, Kabupaten Tulang Bawang Lampung tahun 2024, kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) Magang Riset, kegiatan Praktik Umum (PU) dengan judul “Kajian Keselamatan Radiasi Lingkungan Menggunakan RESRAD-BIOTA di Pantai Bengkayang, Kalimantan Barat” serta Tugas Akhir di Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir (PRTKMMN-ORTN) Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN). Penulis menyelesaikan Sarjana Sains (S.Si) dalam bentuk skripsi dengan judul “Analisis Konsentrasi dan Laju Dosis ^{137}Cs Pada *P. Erumei* (Bloch Schneider, 1801) dan *T. Tonggol* (Bleeker, 1851)”.

Untuk Ayahanda Mastang dan Ibunda Benti Majayana yang senantiasa memberikan do'a, kasih sayang, kepercayaan, dukungan, dan motivasi penuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “*Analisis Konsentrasi dan Laju Dosis ¹³⁷Cs pada P. Erumei (Bloch Schneider, 1801) dan T. Tonggol (Bleeker, 1851)*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Kuswanta Futas Hidayat, M.P. selaku Dekan FP Unila;
2. Munti Sarida, S.Pi. M.Sc. Ph.D. selaku Ketua Jurusan Perikanan dan Kelautan;
3. Dr. Moh. Muhaemin, S.Pi., M.Si selaku Dosen Pembimbing Utama;
4. Dr. Wahyu Retno Prihatiningsih, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Pembantu/Sekretaris;
5. Eko Effendi, S.T., M.Si. selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan dan Penguji Utama;
6. Oktora Susanti, S.Pi., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
7. Kedua orang tua Ayahanda Mastang & Ibunda Benti Majayana serta keluarga besar.

Bandar Lampung, 16 April 2025

Sabrina Cinta Farani

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR ISTILAH	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	5
1.4 Kerangka Pikir.....	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tinjauan Umum <i>P. erumei</i> (Bloch & Schneider, 1801).....	7
2.1.1 Klasifikasi dan Morfologi <i>P. erumei</i>	7
2.1.2 Habitat dan Penyebaran <i>P. erumei</i>	8
2.1.3 Pola Pertumbuhan <i>P. erumei</i>	9
2.2 Tinjauan Umum <i>T. tonggol</i> (Bleeker, 1851)	9
2.2.1 Klasifikasi dan Morfologi <i>T. tonggol</i>	9
2.2.2 Habitat dan Penyebaran <i>T. tonggol</i>	11
2.2.3 Pola Pertumbuhan <i>T. tonggol</i>	11
2.3 Radionuklida	13
2.4 Radionuklida ¹³⁷ Cs (Cesium-137)	14
2.5 Dampak Radionuklida ¹³⁷ Cs pada Manusia	15
2.6 Distribusi Radionuklida ¹³⁷ Cs Pada Perairan	15
2.7 Cemaran Radionuklida ¹³⁷ Cs Pada Ikan	17
2.8 Tingkat Trofik	20
2.9 Spektrometri - γ	21
2.10 <i>Erica Tools</i>	22
III. METODE PENELITIAN	24
3.1 Waktu dan Tempat	24
3.1.1 Waktu Penelitian.....	24
3.1.2 Tempat Penelitian	24

3.2 Bahan dan Alat	25
3.2.1 Bahan	25
3.2.2 Alat	25
3.3 Rancangan Penelitian	26
3.4 Prosedur Penelitian	26
3.4.1 Pengambilan Sampel Ikan	26
3.4.2 Persiapan Bahan Uji	28
3.4.3 Analisis Spektrometri - γ	28
3.4.4 Pengukuran dan Analisis Radionuklida ^{137}Cs	29
3.4.5 Penentuan Tingkat Trofik	30
3.4.6 Perhitungan Laju Dosis dengan <i>Erica tools</i>	30
3.5 Analisis Data	31
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Konsentrasi Aktivitas Radionuklida ^{137}Cs	32
4.2 Penilaian Laju Dosis dengan Perangkat <i>Erica Tools</i>	35
V. SIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Simpulan.....	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Referensi konsentrasi aktivitas radionuklida ^{137}Cs di wilayah lain	18
2. Alat yang digunakan pada penelitian	25
3. Rata-rata konsentrasi aktivitas radionuklida ^{137}Cs	32
4. Data input penilaian laju dosis menggunakan <i>Erica tools</i>	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Kerangka pemikiran penelitian	6
2. Morfologi <i>P. erumei</i> (Bloch & Schneider, 1801)	7
3. Morfologi <i>T. tonggol</i> (Bleeker, 1851)	10
4. Skema reaksi fisi terbentuknya radionuklida ^{137}Cs	14
5. Rantai peluruhan radionuklida ^{137}Cs	15
6. Transportasi ^{137}Cs di perairan	16
7. Ilustrasi teknik spektrometri $-\gamma$	22
8. Sistem kerja pada <i>software Erica tools</i>	23
9. Peta lokasi penelitian	25
10. Prosedur penelitian secara umum	27
11. Laju Dosis ^{137}Cs pada <i>P. erumei</i> , <i>M. achne</i> dan <i>P. olivaceus</i>	37
12. Laju Dosis ^{137}Cs pada <i>T. tonggol</i> dan <i>E. alletteratus</i>	37
13. <i>P. erumei</i>	70
14. <i>T. tonggol</i>	70
15. Bobot total <i>P. erumei</i>	70
16. Bobot total <i>T. tonggol</i>	70
17. Pemisahan daging <i>P. erumei</i>	71
18. Pemisahan daging <i>T. tonggol</i>	71
19. Penghalusan daging <i>P. erumei</i> menggunakan <i>chopper blender</i>	71
20. Penghalusan daging <i>T. tonggol</i> menggunakan <i>chopper blender</i>	71
21. Pemindahan daging <i>P. erumei</i> ke dalam <i>conical tube</i>	71
22. Pemindahan daging <i>T. tonggol</i> ke dalam <i>conical tube</i>	71
23. Pemindahan sampel ikan ke dalam <i>freezer</i>	71
24. Proses <i>freeze dryer</i> pada sampel ikan	71

25. Hasil <i>freeze dryer P. erumei</i>	72
26. Hasil <i>freeze dryer T. tonggol</i>	72
27. Penghalusan daging <i>P. erumei</i> menggunakan <i>blender</i>	72
28. Penghalusan daging <i>T. tonggol</i> menggunakan <i>blender</i>	72
29. Pengemasan <i>P. erumei</i> ke dalam marinelli	72
30. Pengemasan <i>T. tonggol</i> ke dalam marinelli	72
31. Proses memasukkan sampel ke dalam detektor	72
32. Analisis spektrum hasil pengukuran spektrometri $-\gamma$	72
33. Aktivitas perikanan di Pasar Muara Baru	73
34. Wawancara bersama pedagang pasar Muara Baru	73
35. Wawancara bersama distributor pedagang Pasar Muara Baru	73
36. Ruang penyimpanan ikan	73
37. Wawancara bersama nelayan	73
38. Wawancara bersama pemilik kapal <i>collecting</i>	73
39. Foto bersama pedagang Pasar Muara Baru	73
40. Foto bersama tim	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Surat perjanjian Tugas Akhir (TA)	66
2. Skema kerja <i>Erica tools</i>	68
3. Organisme geometri	68
4. Laju dosis ($\mu\text{Gy}/h$) ⁻¹ dari radionuklida ¹³⁷ Cs	69
5. Hasil wawancara	69
6. Dokumentasi kegiatan	70

DAFTAR ISTILAH

<i>Becquerel (Bq)</i>	satuan SI untuk aktivitas. 1 Bq sama dengan 1 disintegrasi per detik
<i>Bahan radioaktif</i>	bahan yang satu atau lebih komponennya menunjukkan sifat radioaktivitas
<i>Dosis eksternal</i>	dosis yang diterima dari sumber radiasi di luar tubuh
<i>Dosis internal</i>	Dosis yang diterima dari bahan radioaktif yang masuk ke dalam tubuh
<i>Dosis serap</i>	energi yang diberikan kepada elemen volume berukuran kecil yang sesuai oleh radiasi pengion dibagi dengan massa elemen volume tersebut
<i>Gray (Gy)</i>	satuan SI untuk dosis serapan. 1 Gy sama dengan dosis serapan 1 J/kg (100 rad)
<i>Jatuhan radioaktif</i>	bahan radioaktif yang jatuh dari udara ke permukaan bumi
<i>Konsentrasi aktivitas</i>	aktivitas bahan dibagi dengan volumenya
<i>Kontaminasi radioaktif</i>	zat radioaktif dalam bahan atau tempat yang tidak diinginkan
<i>Limbah radioaktif</i>	bahan radioaktif yang tidak diinginkan namun terdapat dalam pengolahan atau penanganan bahan radioaktif
<i>Laju dosis</i>	tingkat penyerapan dosis radiasi per satuan waktu
<i>Radioaktivitas</i>	sifat nuklida tertentu yang secara spontan memancarkan partikel atau radiasi gamma atau memancarkan radiasi sinar-X diikuti oleh penangkapan elektron orbital atau mengalami fisi spontan

<i>Sumber radioaktif</i>	kuantitas bahan radioaktif yang dimaksudkan untuk digunakan sebagai sumber radiasi pengion
<i>Tier</i>	sistem penilaian yang menunjukkan tingkat keunggulan teknologi dan keamanan dalam sebuah pusat data
<i>Waktu paro radioaktif</i>	waktu yang diperlukan oleh aktivitas untuk berkurang setengah nilainya melalui proses peluruhan radioaktif tunggal

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Keberadaan radionuklida di lingkungan terbagi atas radionuklida alami dan radionuklida buatan (Hutama et al., 2013). Sejumlah aktivitas yang melibatkan intervensi manusia mengakibatkan pelepasan radionuklida buatan di perairan, termasuk ^{137}Cs sebagai kontaminan utama dipengaruhi oleh sifat ^{137}Cs yang beracun dan konservatif dengan waktu paruh sangat panjang mencapai 30 tahun (Aoyama et al., 2020). Aktivitas tersebut antara lain percobaan senjata nuklir di atmosfer, kegiatan industri nuklir, dan peristiwa kecelakaan reaktor nuklir yang terjadi di Chernobyl pada tahun 1986 serta Fukushima Daiichi *Nuclear Power Station* (FDNPS) pada tahun 2011 yang terjadi akibat bencana alam gempa bumi dan tsunami (Bailly du Bois et al., 2012; Belyaev et al., 2023; Ishii et al., 2020; Malaka, 2019).

Pada kondisi tertentu, ^{137}Cs dapat tersebar ke perairan laut karena terjadinya *global fallout* melalui jatuhnya atmosfer, lepasan dari sumber terestrial hingga pergerakan massa air (Latifah et al., 2022). Persebaran ^{137}Cs dalam air turut dipengaruhi oleh proses fisika seperti pencampuran (difusi) dan sirkulasi air laut yang membawa unsur ^{137}Cs dari sumbernya (Saito et al., 2015; Wada et al., 2016). Adanya pergerakan massa air dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia yang terbawa oleh ARLINDO (Arus Lintas Indonesia) serta pengaruh arus global (*The Great Conveyor Belt*) memungkinkan terbawanya unsur radioaktif masuk ke perairan Indonesia (Kurniawan et al., 2014; Suseno & Prihatiningsih, 2014).

Radionuklida ^{137}Cs dapat terdeposisi ke dasar perairan dan terakumulasi oleh organisme yang hidup di dalamnya salah satunya adalah ikan (Maderich et al., 2014; Marwoto et al., 2019).

Ikan mengandung sumber energi yang penting, protein bernilai biologis tinggi, asam lemak tak jenuh serta berbagai macam zat gizi mikro termasuk berbagai mineral dan vitamin (Conti et al., 2015). Pada wilayah global, konsumsi ikan oleh manusia sangat tinggi mencapai 88% (156 juta ton/per tahun) dari total produksi ikan pada tahun 2018 (*Food and Agriculture Organization*, 2019). Meskipun demikian, adanya kontaminasi radioaktif pada produk perikanan meningkatkan kekhawatiran publik tentang keamanan pangan, mengingat ikan merupakan salah satu produk perikanan dengan kontribusi tertinggi terhadap total penyerapan bahan kimia dalam makanan, termasuk radionuklida. Pada ikan, ^{137}Cs terakumulasi secara biologis melalui jaringan makanan dan berpindah antar tingkat trofik (Beresford et al., 2013; Volkova et al., 2019). Lebih lanjut, total penyerapan ^{137}Cs dipengaruhi oleh habitat ikan (Ashraf, et al., 2014). Kontaminasi radionuklida ^{137}Cs secara berlebihan pada ikan menimbulkan dampak negatif pada ikan hingga penurunan populasi (Ananyeva et al., 2019).

Keberadaan ikan sebagai produk perikanan berpotensi sebagai sumber paparan radiasi melalui konsumsi bahan makanan yang berasal dari lingkungan perairan dan mengakibatkan masuknya sejumlah radionuklida ke tubuh manusia (Duran et al., 2014; Görür et al., 2012). Radionuklida ^{137}Cs dapat terakumulasi dalam jaringan tulang, otot manusia dan menginduksi tumor jaringan lunak sehingga menyebabkan penyakit kanker (Beyea et al., 2004). Menurut Wang et al., (2018), paparan ^{137}Cs secara berlebihan dapat menyebabkan kerusakan kronis pada tubuh manusia sehingga berada pada posisi lesi inflamasi seperti paru-paru, saluran gastrointestinal, saluran kemih, dan sistem reproduksi. Berdasarkan kekhawatiran mengenai bahaya radiologi yang ditimbulkan, maka keamanan pangan harus turut diperhatikan, dengan melakukan pemantauan berkelanjutan terhadap tingkat ^{137}Cs di lingkungan khususnya produk hasil perikanan (Bae et al., 2016; Cooke et al., 2022).

Pasar Muara Baru menjadi salah satu pusat perdagangan terbesar yang menjual produk hasil perikanan (Zulaihah et al., 2018). Sejumlah produk perikanan yang turut diperjualbelikan adalah jenis ikan konsumsi yang memiliki gizi tinggi dan bernilai ekonomis penting, diantaranya *T. tonggol* dan *P. erumei* (Bachtiar et al., 2023). Menurut Kementerian Kelautan Perikanan (2022), Data Produksi Perikanan Tangkap Laut *T. tonggol* di Wilayah Indonesia terus mengalami peningkatan sejak tahun 2018 hingga mencapai 593,905,89 ton/tahun. Menurut *Food and Agriculture Organization* (FAO), menyatakan bahwa pada wilayah global tongkol merupakan ikan yang paling banyak dikonsumsi di antara predator laut teratas (*Food and Agriculture Organization*, 2020). Sementara itu, menurut Data Produksi Perikanan Tangkap Laut pada *P. erumei* didapatkan nilai yang cukup stabil per tahunnya yaitu mencapai 21,243,71 ton/tahun (Kementerian Kelautan Perikanan, 2022). Lebih lanjut, pengukuran konsentrasi aktivitas radionuklida antropogenik pada *P. erumei* penting dilakukan karena termasuk ke dalam organisme referensi yang digunakan oleh IAEA dalam perangkat analisis keselamatan radioaktif (USDOE, 2019). Penilaian risiko radiologis di lingkungan sangatlah penting, beberapa perangkat model dikembangkan dengan tujuan untuk mengkaji dampak terhadap lingkungan termasuk khususnya pada biota (Vives I Batlle et al., 2017).

Erica tools sebagai sistem perangkat lunak berbasis komputer yang fleksibel dan memiliki struktur berdasarkan *ERICA Integrated Approach* untuk menilai risiko radiologis pada biota (Brown et al., 2008). Pada *Erica tools*, penilaian dilakukan dengan cakupan penilaian dampak, karakterisasi risiko dalam rangka pertimbangan untuk pengelolaan lingkungan dengan paduan yang terstruktur dan konsisten dalam bentuk hasil dalam setiap tahap (Zinger et al., 2008). Penilaian laju dosis dengan menggunakan perangkat *Erica tools* telah dilakukan pada wilayah global (Mavrokefalou et al., 2021) di Pulau Lemnos, Kolymia & Pantai Karachi, Pakistan (Saleem et al., 2015). Penilaian laju dosis pada biota dilakukan sebagai upaya pemantauan aktivitas radionuklida ^{137}Cs yang lebih komprehensif, pada wilayah regional pemantauan laju dosis biota terus dilakukan, berlokasi di Pantai Gosong, Kalimantan Barat (Mukanthi et al., 2021), Pesisir

Barat Pulau Sumatera (Makmur & Prihatiningsih, 2020), Tanjung Awar-Awar Tuban (Aryanti et al., 2022).

Analisis kandungan kontaminan radionuklida dalam produk perikanan merupakan salah satu kegiatan terpenting dalam pengendalian keamanan pangan (Galimberti, 2016). Penelitian mengenai radionuklida ^{137}Cs telah banyak dilakukan, seperti pada wilayah global (Cooke et al., 2022) yaitu pengukuran konsentrasi radioaktivitas ^{137}Cs pada ikan dan kerang di Pantai Barat, Kanada. Pada Wilayah Asia dilakukan oleh (Zhipeng et al., 2023) untuk mengetahui distribusi dan evaluasi dosis dalam sampel biota dari daerah penangkapan ikan di Zhoushan, China. Sementara itu, pada wilayah nasional penelitian mengenai penetapan aktivitas radionuklida ^{137}Cs masih terus dilakukan, salah satunya kajian mengenai kualitas air laut dan dosis ^{137}Cs pada biota di Pantai Gosong, Kalimantan Barat (Mukanthi et al., 2021) dan aktivitas radionuklida antropogenik ^{137}Cs pada organisme laut yaitu *Euthynnus alletteratus* dan *Anadara granosa* di Perairan Semarang (Kurniawati et al., 2013). Upaya pemantauan peningkatan kontaminasi ^{137}Cs terus dilakukan untuk mengetahui proses transfer ^{137}Cs dalam ekosistem perairan (Wada et al., 2016). Beberapa penelitian serupa dilakukan pada Pesisir Barat Pulau Sumatra (Makmur & Prihatiningsih, 2020), Pulau Bangka (Suseno & Prihatiningsih, 2014), Pulau Tikus Samudera Hindia (Muslim et al., 2016), serta Kalimantan (Prihatiningsih et al., 2020) untuk sedimen dan air laut. Akan tetapi, penelitian mengenai penetapan konsentrasi ^{137}Cs pada jenis ikan konsumsi masih sangat terbatas. Dengan demikian, dilakukan penelitian mengenai analisis konsentrasi ^{137}Cs pada *P. erumei* dan *T. tonggol* dan penilaian laju dosis menggunakan perangkat lunak *Erica tools*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian sebagai berikut:

1. menganalisis konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada *P. erumei* dan *T. tonggol* yang didaratkan di Pasar Muara Baru, Kec. Penjaringan, Jakarta Utara;
2. melakukan penilaian laju dosis pada *P. erumei* dan *T. tonggol* menggunakan perangkat lunak *Erica tools*.

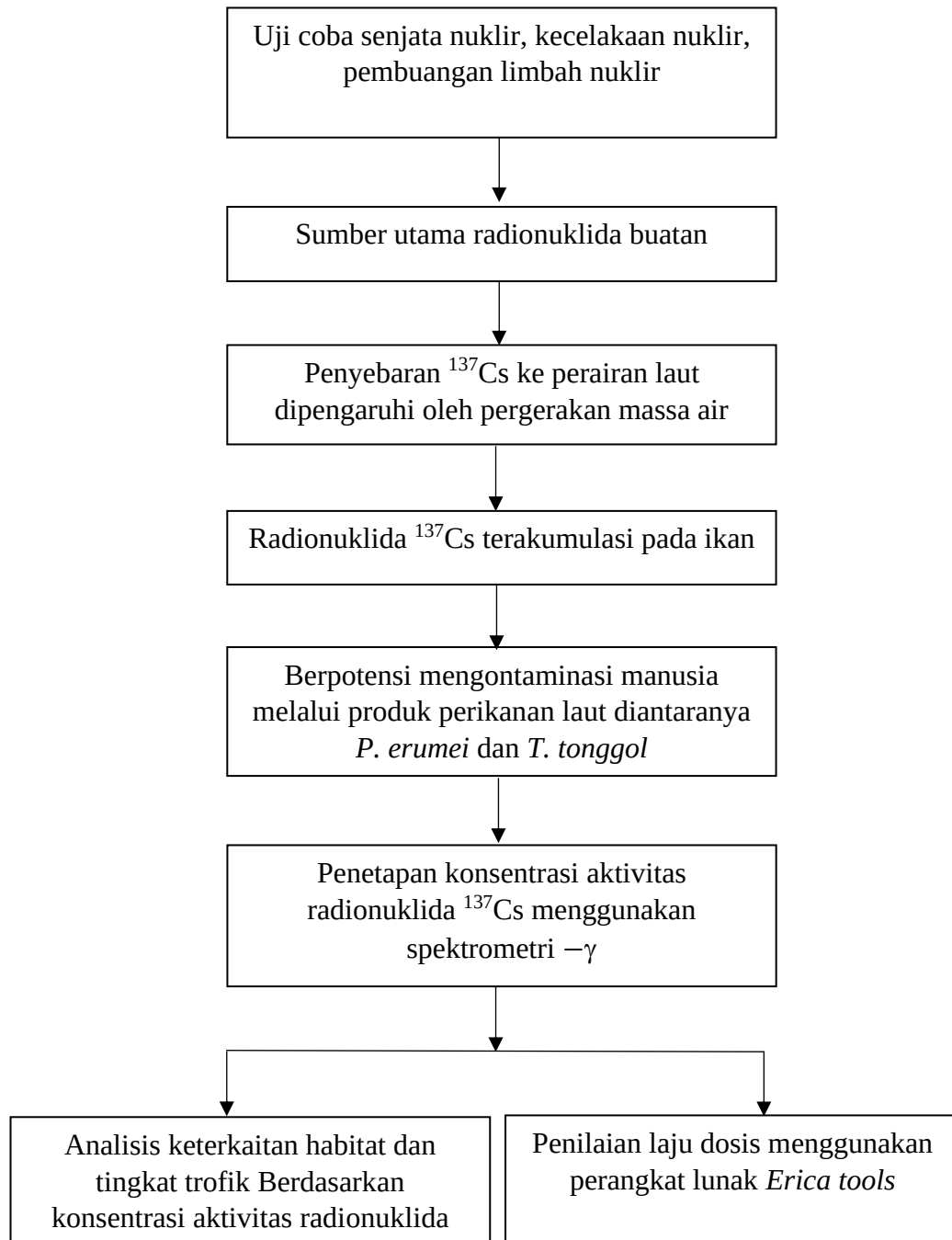
1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian antara lain sebagai berikut:

1. memberikan informasi mengenai konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada *P. erumei* dan *T. tonggol* yang didaratkan di Pasar Muara Baru, Kec. Penjaringan, Jakarta Utara;
2. memberikan informasi mengenai kandungan laju dosis pada *P. erumei* dan *T.* dengan perangkat lunak *Erica tools*.

1.4 Kerangka Pikir

^{137}Cs merupakan radionuklida kontaminan utama yang terlepas akibat berbagai aktivitas manusia yang menimbulkan pencemaran lingkungan. Peningkatan ^{137}Cs dihasilkan oleh sumber utama uji senjata nuklir, kegagalan pengoperasian reaktor, dan pembuangan limbah nuklir. Radionuklida ^{137}Cs dapat tersebar ke perairan melalui pergerakan massa air yang bergerak dari Samudera Pasifik menuju Samudera Hindia (Kurniawan et al., 2014). Masuknya ^{137}Cs berpotensi menimbulkan bahaya paparan radiasi di lingkungan perairan dan mengkontaminasi organisme yang hidup di dalamnya serta dapat masuk ke tubuh manusia melalui konsumsi produk perikanan (Buesseler et al., 2012). Dampak yang ditimbulkan dari konsumsi produk tersebut adalah timbulnya paparan radiasi yang akan mengganggu kesehatan manusia. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai penetapan konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada *P. erumei* dan *T. tonggol*, analisis keterkaitan habitat dan tingkat trofik, serta dilakukan pula penilaian risiko radiologis dengan menggunakan perangkat lunak *Erica tools*. Kerangka pikir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

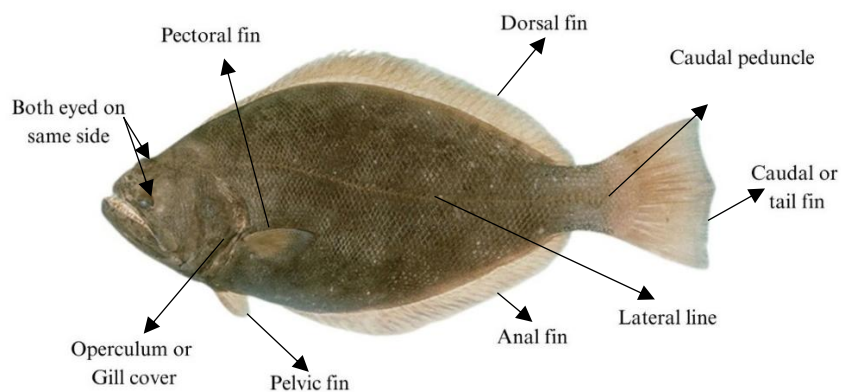
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum *P. erumei* (Bloch & Schneider, 1801)

2.1.1 Klasifikasi dan Morfologi *P. erumei*

Menurut Froose & Pauly (2024), taksonomi *P. erumei* diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
Filum : Chordata
Kelas : Actinopterygii
Ordo : Pleuronectiformes
Famili : Psettodidae
Genus : *Psettodes*
Spesies : *P. erumei*



Gambar 2. Morfologi *P. erumei* (Bloch & Schneider, 1801).
Sumber: Randall, J. E. (1980).

P. erumei adalah salah satu jenis ikan demersal yang hidup di perairan dasar, dengan nama lain Ikan Pipih (Adela et al., 2016). Morfologi *P. erumei* yaitu memiliki bentuk tubuh non bilateral simetris dan termasuk ke dalam kelompok ikan yang memiliki bentuk tubuh pipih mendatar. *P. erumei* memiliki mulut sisi kanan (dekstral) atau sisi kiri (sinistral) dengan bentuk mulut terminal. Bentuk ikan ekor yang dimiliki *P. erumei* adalah *truncate* dengan bagian sirip ekor meruncing (*pointed*) dan memiliki warna badan putih kemerahan. *P. erumei* memiliki dua sisi berwarna putih atau sangat pucat berbentuk mendatar menghadap ke bawah (sisi buta), sedangkan sisi lain yang menghadap ke atas memiliki bentuk cembung dan cenderung berwarna atau disebut sisi mata (Gambar 2). Perbedaan warna tubuh tersebut biasanya serasi dengan lingkungan sekitarnya, *P. erumei* dapat berkamuflase dengan sangat baik dan memiliki kemampuan untuk mengadaptasi warna serta pola sisi mata mereka dengan penampilan optik dasar laut (Bergstrom et al., 2019; Lubis et al., 2021).

Sirip utama pada *P. erumei* berjumlah tujuh dengan rincian satu sirip dorsal (D) yang membentang hampir sepanjang tubuh, satu sirip anal (A) di bagian bawah tubuh, satu sirip caudal (C) di ujung belakang tubuh, sepasang sirip dada di sisi tubuh pectoral (P1), sepasang sirip pelvic (P2) di bagian bawah depan tubuh (Friedman, 2008). Ciri khusus yang dimiliki *P. erumei* antara lain memiliki jumlah sisik sikloid dan stenoid yang berbeda. Pada bagian buta, *P. erumei* memiliki jumlah sisik lebih banyak dan memiliki lebih sedikit duri stenoid daripada di sisi mata. Hal tersebut mengindikasikan bahwa bagian sisik yang terbuka dan jumlah sisik stenoid yang lebih banyak di sisi mata (Spinner et al., 2016). *P. erumei* memiliki bentuk tengkorak yang asimetri, dengan kedua mata terletak di satu sisi kepala. Bentuk tubuh *P. erumei* terbentuk dari migrasi satu mata selama perkembangan larva akhir (Friedman, 2008).

2.1.2 Habitat dan Penyebaran *P. erumei*

P. erumei merupakan spesies ikan demersal yang hidup di wilayah tropis, umumnya hidup di bagian dangkal kontinen dengan substrat berpasir atau berlumpur (Van Der Laan et al., 2014). Habitat *P. erumei* berada di perairan bentik

dan memiliki kemampuan adaptasi yang sangat tinggi dibandingkan vertebrata lainnya (Evans et al., 2021). Hal tersebut menjadikan habitat sebagai kondisi ideal suatu spesies ikan untuk bertelur, berkembang biak, mencari makan dan bertumbuh (Bone & More, 2008). Distribusi *P. erumei* cukup luas, meliputi wilayah Samudera Hindia dan bagian barat daya Samudera Pasifik, dari Laut Merah dan Afrika Timur ke Pantai Papua Nugini dan Australia (Ghanbarzadeh et al., 2021). Sedangkan daerah persebaran di Indonesia antara lain Jawa, Madura, Bali, Sumatra, Bangka, Kalimantan, Sulawesi dan Kepulauan Maluku (Nair & Gopalakrishnan, 2014). Penyebaran *P. erumei* dari Samudera Hindia ke Samudera Pasifik Barat dipengaruhi oleh Arus Balik Khatulistiwa dari pusaran Samudera Hindia (Momigliano et al., 2017).

2.1.3 Pola Pertumbuhan *P. erumei*

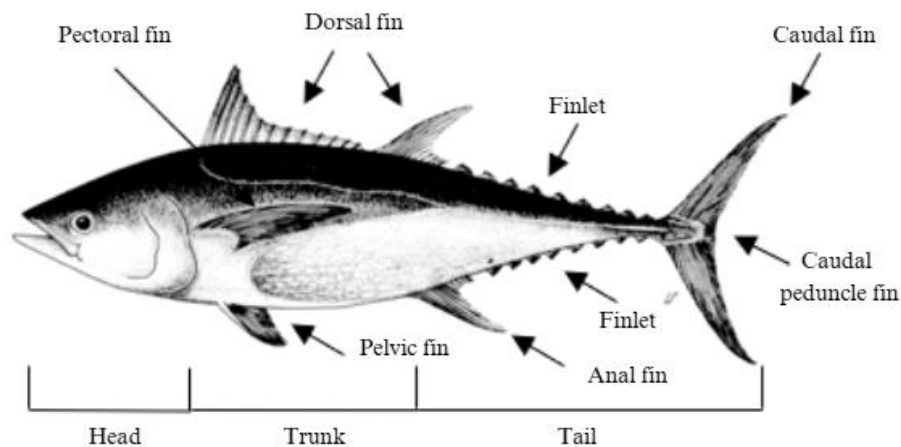
Pola pertumbuhan ikan dilihat dari hasil analisis pertumbuhan panjang dan berat ikan (Lestari et al., 2016). Menurut (Nasution & Machrizal, 2021), pola pertumbuhan ikan dibagi menjadi 2 yakni allometrik positif dan allometrik negatif. Pola pertumbuhan dikatakan allometrik negatif jika nilai b yang diperoleh dari rumus berada dibawah 3, hal tersebut menandakan bahwa pertumbuhan panjang lebih cepat dari pada pertumbuhan berat. Kemudian jika nilai b diatas 3 maka dikatakan allometrik positif yang artinya pertumbuhan berat lebih luas daripada pertumbuhan panjangnya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Barokah et al., 2016), diperoleh hasil bahwa, pola pertumbuhan *P. erumei* bersifat allometrik positif dimana pertambahan panjang lebih cepat berbanding pertambahan bobot tubuh dengan perolehan nilai b 3.1175 yang berarti $b > 3$ (Barokah et al., 2016).

2.2 Tinjauan Umum *T. tonggol* (Bleeker, 1851)

2.2.1 Klasifikasi dan Morfologi *T. tonggol*

Menurut Collete et al., (1983), taksonomi *T. tonggol* diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom : Animalia
 Filum : Chordata
 Subfilum : Vertebrata
 Kelas : Teleostei
 Ordo : Perciformes
 Subordo : Scombroidei
 Famili : Scombridae
 Genus : *Thunnus*
 Spesies : *T. tonggol*



Gambar 3. Morfologi *T. tonggol* (Bleeker, 1851)
 Sumber: Fishcher et al., (1990).

T. tonggol merupakan ikan predator yang ditemui pada perairan dangkal, berasal dari famili Scrombridae (Aziz et al., 2024). Morfologi *T. tonggol* yaitu memiliki bentuk badan yang serupa dengan cerutu pendek dan moncong runcing dengan lima bagian sirip utama (*fin*) dan satu bagian sirip tambahan (*finlet*). Kelima sirip utama tongkol abu-abu meliputi sirip punggung (*dorsal fin*), sirip ekor (*caudal fin*), sirip dada (*pectoral fin*), sirip dubur (*anal fin*), dan sirip perut (*pelvic fin*) dengan ciri khusus sirip punggung kedua lebih tinggi daripada yang pertama serta sirip dada pendek atau agak panjang sekitar 22-31% FL (*fork length*) pada spesimen kecil di bawah 60 cm FL atau 16-22% FL untuk spesimen yang lebih besar serta permukaan ventral dari hati polos serta tidak bergaris-garis. Pada *T. tonggol* diketahui sirip dorsal pertama (D1) Ikan Tongkol berjari-jari

keras sebanyak 10 ruas, sedangkan yang sirip dorsal kedua (D2) berjari-jari lemah sebanyak 12 ruas, dan terdapat 6-9 jari-jari sirip tambahan. Sirip pectoral (P) pendek dengan ujung yang tidak mencapai celah diantara kedua sirip dorsal. Sirip anal (A) berjari-jari lemah sebanyak 14 dan memiliki 6-9 jari-jari sirip tambahan. Sirip-sirip kecil 8-10 buah terletak di belakang sirip dorsal kedua (Colette & Nauen, 1983; Griffiths et al., 2010).

2.2.2 Habitat dan Penyebaran *T. tonggol*

T. tonggol merupakan spesies ikan pelagis yang hidup di permukaan perairan sampai kolom air (*mid layer*) (Tangke, 2020). Menurut Sari et al., (2022), menyatakan bahwa ikan pelagis umumnya hidup bergerombol Berdasarkan ukurannya. Umumnya, *T. tonggol* ditemukan berlimpah di habitat neritik tropis hingga beriklim sedang di seluruh Indo-Pasifik (Griffiths, 2010; Kunal et al., 2014). Wilayah penyebaran *T. tonggol* terdapat tersebar mulai selatan Jepang, Papua Nugini, Australia, Filipina hingga perairan India, Laut Merah, Pantai Somalia dan Semenanjung Arab (Christensen, 2009). Pada wilayah Indonesia, distribusi *T. tonggol* memiliki sebaran yang luas mulai dari Laut Jawa, Laut Natuna hingga Selat Malaka (Hidayat et al., 2023). Menurut (Abdussamad et al., 2012), *T. tonggol* menjadi salah satu komoditas yang berkontribusi signifikan dalam pemasukan sumberdaya pangan di Indonesia, bahkan keberadaan *T. tonggol* menjadi spesies tangkap dominan dengan total kontribusi mencapai 37% di Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP-712) (Hidayat et al., 2020). Sementara itu, jika dibandingkan dengan jenis tuna lain pertumbuhan *T. tonggol* cenderung lebih lambat dan hidup lebih lama (Griffiths et al., 2010).

2.2.3 Pola Pertumbuhan *T. tonggol*

Menurut (Alamsjah et al., 2020) pertumbuhan ikan ditandai dengan perubahan ukuran panjang, bobot dan volume suatu individu pada periode waktu tertentu. Dalam prosesnya, pertumbuhan *T. tonggol* didukung oleh berbagai faktor lingkungan. Kondisi lingkungan hidup penyebaran ikan pelagis sering mengikuti

sirkulasi arus serta kepadatannya sangat berhubungan dengan kondisi arus (Jalil, 2013). Berdasarkan faktor dan kondisi tersebut ikan akan menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan tempat tinggalnya dan akan melakukan proses pertumbuhan baik pembentukan struktur tubuh ikan, proses pernafasan, cara pergerakan, memperoleh makanan, dan reproduksi (Alamsyah et al., 2020). Selain arus, ketersediaan makanan, salinitas dan suhu adalah dua faktor penting lainnya yang mempengaruhi distribusi dan migrasi ikan di laut (Syajidah et al., 2024). Menurut (Ma'mun et al., 2019). Secara umum, semakin dalam perairan maka suhu air pun menurun, ikan pelagis khususnya ikan pelagis besar cenderung mendekati perairan dengan suhu berkisar antara 16-26°C, dengan suhu optimum 28-29°C dan kadar salinitas 33-35 per mil. Kondisi suhu permukaan laut kemudian akan mempengaruhi proses kecepatan metabolisme dan perkembangbiakan ikan pelagis (Sala & Manuhutu, 2020).

T. tonggol memiliki tingkah laku yang hidup bergerombol dengan ukuran dan jenis yang sama, baik untuk memijah ataupun mencari makan. Hal tersebut kemudian berpengaruh terhadap variasi ukuran ikan jantan dan betina (Devy & Astarani, 2021). *T. tonggol* merupakan ikan yang tergolong karnivora, dan dapat digolongkan sebagai ikan yang bersifat *stenophagic* karena terdapat beberapa jenis makanan yang dijumpai di dalam lambungnya, antara lain ikan pelagis kecil, cumi-cumi dan makanan terlarut (Saraswatia et al., 2020). Perubahan pola makan *T. tonggol* dari waktu ke waktu diduga dipengaruhi oleh ketersediaan, kelimpahan dan penyebaran sumber daya makanan yang ada di perairan tersebut. Kebiasaan makan tersebut kemudian akan berhubungan dengan panjang dan berat ikan (Fachrurrazi et al., 2019; Romanda et al., 2019). Secara keseluruhan pertumbuhan *T. tonggol* bersifat allometrik negatif dimana penambahan panjang lebih cepat berbanding penambahan bobot tubuh (Risti et al., 2019; Wagiyo & Febrianti, 2015).

Ikan menjadi sumber utama makanan laut dan nutrisi penting dalam memenuhi kebutuhan nutrisi dalam kesehatan masyarakat (Alipour & Banagar, 2018). Meskipun demikian, terdapat kekhawatiran mengenai kontaminasi radionuklida di ikan, sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Johansen et

al., (2015), melalui pengukuran radionuklida pada jaringan ikan didapatkan hasil bahwa sebagian besar ikan mengandung sejumlah radionuklida.

2.3 Radionuklida

Radionuklida adalah isotop suatu unsur yang tidak stabil menjadi isotop unsur lain dengan melepaskan kelebihan energinya dalam bentuk radiasi nuklir untuk mencapai kesetimbangan (Muthmainnah et al., 2020; Sriyono et al., 2014). Radionuklida termasuk ke dalam kategori bahan berbahaya, beracun dan berpotensi sebagai unsur pencemar terlebih jika masuk ke dalam ekosistem perairan (Kaur et al., 2019). Radiasi gamma yang dipancarkan dari radionuklida terjadi secara alami dan dapat menjadi sumber paparan internal utama (Filgueiras et al., 2021; Singh et al., 2009).

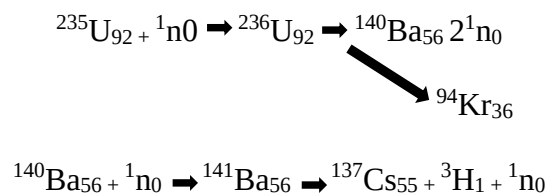
Berdasarkan proses terbentuknya, radionuklida dapat dikelompokkan ke dalam dua golongan besar, yaitu radionuklida primordial (alami) dan antropogenik (buatan) (Akhadi, 2021). Radionuklida alami merupakan radionuklida dengan sumber utama berasal dari kerak bumi dan mantel bumi seperti radio-kalium (^{40}K), radio-uranium (^{238}U), dan radio-thorium (^{232}Th) (P. Povinec et al., 2020). Umumnya radionuklida alam terdapat dalam berbagai formasi geologi seperti sedimen, air, udara (Luhur et al., 2013).

Radionuklida buatan merupakan jenis radionuklida buatan yang keberadaannya telah tersebar secara global di perairan akibat berbagai aktivitas seperti aktivitas produksi senjata yang berkaitan dengan proyek atom, kecelakaan pembangkit listrik tenaga nuklir melalui sumber reaktor melalui jalur penguapan kolam atau tangki penyimpanan cairan yang mengandung sejumlah radionuklida (Ashraf et al., 2014). Radionuklida buatan yang terbentuk pada saat ledakan nuklir berjumlah sekitar 100 spesimen dengan sebagian kecil adalah nuklida dengan umur paruh waktu panjang dimana nuklida yang dihasilkan diantaranya ^{14}C , ^{137}Cs , ^{95}Zr , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{144}Ce , ^3H (Kurniawan et al., 2014; Sanada et al., 2019). Radionuklida berpotensi tersebar ke lingkungan perairan, didukung oleh berbagai kondisi antara lain melalui aliran air di permukaan, air tanah, limpasan polusi radioaktif dari sumber terestrial serta pengendapan atmosfer sehingga berbahaya

bagi keberadaan organisme (Janković et al., 2016). Paparan radiasi pengion dosis tinggi dalam jangka panjang kemudian akan menimbulkan risiko radiologis (Isinkaye & Emelue, 2015).

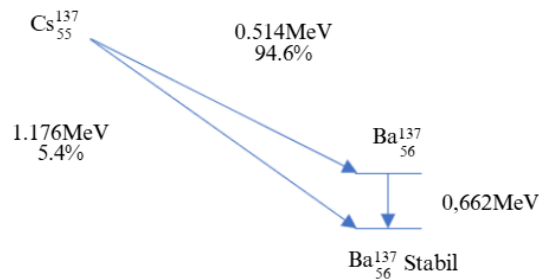
2.4 Radionuklida ^{137}Cs (Cesium-137)

Radionuklida ^{137}Cs adalah unsur radionuklida yang memiliki waktu paruh panjang serta hasil fisi tinggi (Russell et al., 2015; Tazoe et al., 2019). Radionuklida ^{137}Cs merupakan salah satu produk utama peluruhan radioaktif dari lebih 30 isotop caesium yang berasal dari produk fisi Uranium (^{235}U) (Wang & Zhuang, 2020). Pada proses peluruhan inti atom yang tidak stabil akan kehilangan energi dengan melepaskan emisi partikel, seperti partikel alfa, beta, positron, dan sinar gamma, sehingga membentuk kestabilan baru (Makassar et al., 2019). Reaksi fisi yang terjadi sampai terbentuknya ^{137}Cs ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema reaksi fisi terbentuknya radionuklida ^{137}Cs
Sumber: Setiawati et al., (2004)

Menurut Cao et al., (2022), radionuklida ^{137}Cs merupakan inti yang tidak stabil dan akan mengalami peluruhan dan membentuk ^{137}Ba metastabil yang berumur pendek dengan memancarkan sinar beta pada energi maksimum masing-masing 0,514 MeV (94,0%) dan 1.176 keV (5.4%). ^{137}Ba memancarkan sinar gamma dengan energi 661 keV dan menjadi ^{137}Ba yang stabil. Metastabil ^{137}Ba memiliki waktu paruh yang sangat singkat yaitu 2,55 menit dan mengalami peluruhan dengan memancarkan radiasi gamma energi 0,662 MeV (Ahmed et al., 2007; Unno et al., 2014; Wood et al., 2004). Rantai peluruhan radionuklida ^{137}Cs ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rantai peluruhan radionuklida ^{137}Cs

Radionuklida. ^{137}Cs merupakan unsur yang berbahaya karena memiliki tingkat radioaktif yang cukup tinggi dan bersifat beracun (Silalahi et al. 2014). Lebih lanjut, ^{137}Cs berdampak bagi kesehatan manusia (Steinhauser et al., 2014).

2.5 Dampak Radionuklida ^{137}Cs pada Manusia

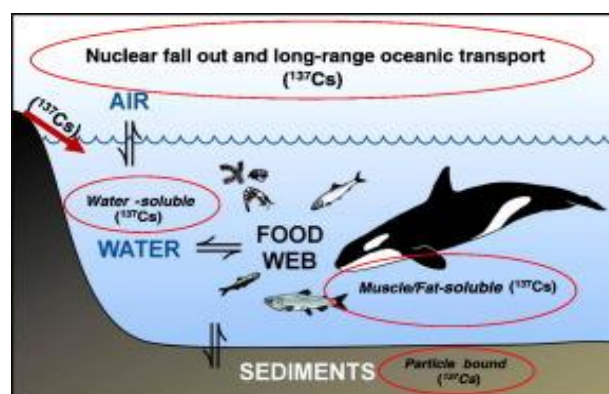
Radionuklida yang terdapat di lingkungan laut akan menjadi penyebab utama paparan radiasi pada manusia. Paparan radiasi merupakan bahaya kesehatan yang serius dan menyebabkan mutasi genetik, gangguan metabolisme, dan tumor ganas (Garnier-Laplace & M Gilek, 2004). Menurut Yarima et al., (2019), unsur radioaktif akan meningkatkan kondisi risiko kumulatif terhadap kesehatan manusia melalui konsumsi biota yang terkontaminasi radionuklida dalam jangka waktu panjang. Berbagai bagian tubuh manusia, seperti otot, sistem pencernaan, pernapasan, serta tulang dapat terpengaruh oleh dampak radionuklida (Lee et al., 2018; Pătrașcu et al., 2018). Radionuklida dapat terserap ke dalam aliran darah serta terakumulasi di jaringan dan tulang target tertentu hingga menyebabkan kerusakan parah (Burger, 2019; Canu et al., 2011). Efek kesehatan yang merugikan dari radioaktivitas pada tubuh manusia bergantung pada waktu dan dosis, serta sebanding dengan daya tembus radiasi (Byrum et al., 2017).

2.6 Distribusi Radionuklida ^{137}Cs Pada Perairan

Pencemaran radionuklida ^{137}Cs di perairan berasal dari 3 sumber utama, antara lain *global fallout* dari uji coba senjata nuklir di atmosfer selama tahun 1950-an hingga 1980-an, kecelakaan nuklir Chernobyl pada tahun 1986 dan kecelakaan pembangkit listrik tenaga nuklir Fukushima Daiichi pada tahun 2011

di Jepang (Cao et al., 2022). Menurut Suseno et al., (2012), menyatakan bahwa satu unsur radionuklida antropogenik paling dominan dilepaskan ke perairan oleh reaktor nuklir adalah ^{137}Cs . Radionuklida ^{137}Cs akan terdistribusi di air melalui berbagai proses termasuk adveksi, difusi, peluruhan radioaktif hingga penyerapan oleh materi tersuspensi dan berakhir mengendap di sedimen. Proses transportasi ^{137}Cs pada air dan sedimen berkaitan dengan sifat kimia Cs ionik (Cs^+) yang berkaitan dengan ukuran dan muatan yang sama (Ashraf et al., 2014). Mengingat sifat radionuklida yang konservatif, maka sebagian besar ^{137}Cs tetap dalam bentuk larut di dalam air (Bu et al., 2017; Thakur & Mulholland, 2012).

Keberadaan radionuklida ^{137}Cs di perairan laut selama prosesnya dipengaruhi oleh berbagai faktor salah satunya adalah arus (Kawamura et al., 2014). Arus memberikan pengaruh langsung terhadap persebaran radionuklida di laut, karena menggerakkan massa air sehingga radionuklida yang telah terakumulasi dapat terlepas kembali ke perairan (Muslim et al., 2015). Kondisi tersebut kemudian turut menghadirkan sejumlah ^{137}Cs baru ke perairan dan mengakumulasi organisme yang hidup di dalamnya sehingga memperpanjang ketidaksetimbangan (Pratama et al., 2015; Sanial et al., 2017; Takata et al., 2016). Dengan demikian, kepadatan kontaminasi radionuklida di daerah tangkapan air dan laju pertukaran air kemudian akan berpengaruh terhadap tingkat pencemaran ^{137}Cs pada ikan (Volkova et al., 2019). Transportasi ^{137}Cs pada perairan selanjutnya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Transportasi ^{137}Cs di Perairan
Sumber: (Alava & Frank, 2016)

2.7 Cemaran Radionuklida ^{137}Cs Pada Ikan

Pada wilayah global, laut menjadi sumber penerima utama langsung melalui jatuhnya atmosfer dan tidak langsung melalui limpasan dari sungai atau daratan melalui pembuangan limbah padat dan cair. Perairan laut merupakan sumber utama dari kontribusi pembuangan ^{137}Cs (Takata et al., 2019). ^{137}Cs dapat terdistribusi di laut, bermigrasi di sedimen dasar melalui jaring makanan organisme laut (Maderich et al., 2021). Sebagai sumber pencemar, ^{137}Cs akan terserap oleh ikan yang turut hidup di perairan yang telah terkontaminasi (Ochiai et al., 2016).

Pencemaran ^{137}Cs pada ikan terjadi melalui dua jalur utama antara lain penyerapan langsung dari air melalui insang dan asupan melalui rantai makanan. Terdapat jalur transfer ^{137}Cs secara biologis melalui rantai makanan yang bersumber dari plankton sebagai produsen primer, invertebrata dasar kemudian akan memakan bagian organik sedimen dasar bersamaan dengan radionuklida yang diserap dan kemudian bermigrasi ke atas hingga berakhir di ikan (Bezhenar et al., 2016). Konsentrasi aktivitas ^{137}Cs bervariasi antar spesies ikan, tergantung pada faktor-faktor seperti habitat, pola makan, dan fisiologi ikan (Johansen et al., 2015). Tingginya konsentrasi aktivitas ^{137}Cs di ikan menimbulkan dampak yaitu menyebabkan penurunan yang signifikan dari spesies ikan, mulai dari spesies ikan langka hingga secara massal (Ananyeva et al., 2019).

Kontaminasi radioaktif ^{137}Cs masih terus terdeteksi pada beberapa wilayah global dan akan berlangsung dalam jangka waktu yang lama. Hal ini disebabkan waktu paruh fisik ^{137}Cs mencapai 30 tahun (Ishii et al., 2024). Kajian mengenai dampak ^{137}Cs pada berbagai negara terus dilakukan, dalam rangka upaya pengendalian pangan. Perbandingan konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada ikan di wilayah global & regional disajikan pada tabel (Tabel 1).

Tabel 1. Referensi konsentrasi aktivitas radionuklida ^{137}Cs di wilayah lain (global dan regional).

Nama Lokal	Spesies	Konsentrasi (Bq/kg)	Wilayah	Referensi
Ikan Flounder Marmer	(<i>P. yokohamae</i>) (Gunther, 1877)	0,683-3,41	Jepang	(Wada et al., 2019)
Ikan Flounder	(<i>P. flesus</i>) (Linnaeus, 1758)	1,85±0,11 – 2,46±0,15	Laut Baltik	(Nogueira et al., 2024)
Ikan Tuna Mata Besar	(<i>T. obesus</i>) (Lowe, 1839)	1,6 ± 0,6	Samudera Pasifik	(Madigan et al., 2017)
Ikan Tuna Albakora	(<i>T. alalunga</i>) (Bonnaterre, 1788)	0,144 ± 0,052	Seladia Baru	(Pearson et al., 2016)
Ikan Tuna Sirip Kuning	(<i>T. albacares</i>) (Bonnaterre, 1788)	1,1	California	(Madigan et al., 2012)
Ikan Tongkol	(<i>E. alletteratus</i>) (Rafinesque, 1810)	0,01	Semarang, Indonesia	(Kurniawati et al., 2013)

Konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada Ikan Flounder Marmer pada wilayah Jepang berkisar 0,683-3,41 Bq/kg (Tabel 1). Hal tersebut berkaitan dengan penyebaran langsung cemaran ^{137}Cs yang berasal dari kecelakaan nuklir dan mengkontaminasi perairan Jepang dan berpindah melalui rantai makanan. Lebih lanjut, terdapat faktor lain yang mempengaruhi besaran aktivitas konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada ikan demersal yaitu sumber kontaminasi tambahan dari lingkungan sedimen (Tateda et al., 2016).

Ikan Flounder pada wilayah Laut Baltik memiliki konsentrasi aktivitas ^{137}Cs berkisar 0,683-3,41 bq/kg (Tabel 1). Masuknya kontaminasi ^{137}Cs pada Laut Baltik berasal dari jatuhan global ^{137}Cs akibat pembangkit listrik tenaga nuklir Chernobyl (1986), dengan total pelepasan sebesar 4,7 PBq (Buesseler, 2014). Selain itu, pada tingkatan lebih rendah, aktivitas pengujian senjata nuklir turut melepaskan ^{137}Cs sebesar 0.9 PBq melalui kejatuhan atmosfer dan pembuangan pabrik pemrosesan ulang Sellafield dan La Hague sebesar 0,25 PBq. Akibat dari peristiwa tersebut menjadikan Laut Baltik sebagai salah satu negara terbesar yang terkontaminasi ^{137}Cs , dengan peningkatan kontaminasi langsung (Nogueira et al., 2024). Distribusi ^{137}Cs terus terjadi melalui proses transportasi di kolom air dan

percampuran massa air sehingga berakhir di jaringan dan tubuh ikan (Zalewska & Suplińska, 2013).

Pada perairan semarang, konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada Ikan Tongkol (*E. alletteratus*) 0,01 Bq/kg (Tabel 1). Masuknya radionuklida ^{137}Cs ke wilayah perairan Indonesia ditinjau berdasarkan proses *global fall out* yang berasal dari radioaktif lama yang mengkontaminasi perairan baru dan tersebar secara merata melalui arus global (Silalahi & Suseno, 2014). Dampak global dari aktivitas nuklir pada tahun 1950-an hingga 1960-an menyebabkan radionuklida ^{137}Cs yang memiliki paruh waktu panjang masih tertinggal di lingkungan dengan <50% dari sumber aslinya (Irawan et al., 2017). Pola sirkulasi arus global yang berasal dari Samudera pasifik kemudian bergerak melewati perairan Indonesia melalui Arus Lintas Indonesia (ARLINDO) (Kurniawati et al., 2013). Hal tersebut diperkuat dengan pernyataan Inoue et al., (2012) bahwa sebaran radionuklida sangat dipengaruhi oleh dinamika perairan laut menentukan pola dan jangkauan sebaran unsur radioaktif.

Konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada Ikan Tuna Albakora (*T. alalunga*) pada wilayah Selandia Baru berkisar 0.144 ± 0.052 Bq/kg (Tabel 1). Berdasarkan kondisi geografis, Selandia Baru berada di Selatan Samudera Pasifik sehingga sangat jauh dari fasilitas pembangkit listrik tenaga nuklir (Pearson et al., 2016). Adapun potensi masuknya radionuklida ^{137}Cs pada wilayah Selandia Baru diduga karena masuknya cemaran ^{137}Cs dari kecelakaan nuklir Fukushima-Daiichi yang signifikan bergerak dari wilayah Pasifik Utara. Menurut Nakano & Povinec, (2012) melalui permodelan distribusi Samudera menunjukkan bahwa kecelakaan nuklir Fukushima Daiichi telah meningkatkan radionuklida ^{137}Cs di Samudera Pasifik Barat Daya dan terus tersebar di wilayah tersebut pada tahun-tahun berikutnya.

Ikan Tuna merupakan merupakan jenis ikan migrasi dan menghuni Samudera Pasifik Utara Barat dan Timur, adanya pelepasan radioaktivitas ke lautan secara global mendukung terakumulasinya ^{137}Cs pada spesies predator di wilayah Samudera Pasifik (Povinec et al., 2013). Radionuklida ^{137}Cs memiliki paruh waktu yang relatif panjang sehingga dapat terakumulasi pada jaringan otot ikan (Buesseler et al., 2011). Ikan Tuna Mata Besar (*T. obesus*) yang berasal dari

Samudera Pasifik memiliki konsentrasi aktivitas sebesar $1,6 \pm 0,6$ Bq/kg dan Ikan Tuna Sirip Kuning (*T. albacares*) dari California sebesar 1,1 Bq/kg.

2.8 Tingkat Trofik

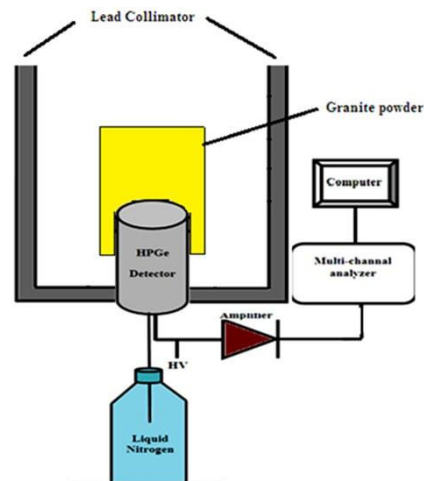
Tingkat trofik (*trophic level*) merupakan suatu tahapan yang menggambarkan transfer material satu energi dari setiap tingkat atau kelompok ke tingkat berikutnya, yang dimulai dengan produsen primer, konsumen primer (herbivora), sekunder, tersier, dan predator puncak. Tingkat trofik dapat terjadi dalam suatu rantai makanan atau jaring makanan antar dan intra dalam setiap kelompok (Almohdar & Souisa, 2018). Rantai awal pada tingkat trofik adalah fitoplankton sebagai produsen primer yang mendukung jenjang trofik di atasnya (Kaswadji et al., 2012). Dalam tingkat trofik, fitoplankton dapat menahan polutan secara langsung dan mentransfer ke konsumen sekunder yang bertindak sebagai mangsa bagi organisme tingkat trofik tinggi seperti ikan (Shi et al., 2024).

Tingkatan trofik dalam ekosistem laut dapat dikontrol secara kuat oleh ikan pada tingkat trofik menengah, yaitu dengan mendominasi biomassa ikan global, dan berperan penting dalam siklus biogeokimia karbon laut bersama organisme lain yaitu krustasea, mollusca dan micronekton (Choy et al., 2015; Davison et al., 2013). Distribusi spasial pada ikan sebagai tingkat trofik menengah dipengaruhi oleh kontrol dari atas ke bawah oleh predator dan kontrol dari bawah ke atas oleh organisme mangsa (Xue et al., 2019). Lebih lanjut, sebaran vertikal dari struktur trofik komunitas mencerminkan perilaku organisme dalam mencari makan bersifat fleksibel dan fluktuasi terhadap lingkungan musiman (McMeans et al., 2019). Komposisi spesies dan interaksi konsumen sumber daya dalam jaring makanan akan mengatur energi dan material yang mengalir dalam ekosistem dan memainkan peran penting dalam stabilitas komunitas organisme (Cross et al., 2013).

2.9 Spektrometri - γ

Spektrometri - γ digunakan sebagai teknik untuk menganalisis isotop-isotop hasil fisi pemancar gamma seperti isotop ^{137}Cs (BrGinting et al., 2014). Spektrometri - γ didefinisikan sebagai suatu metode pengukuran dan pengidentifikasian zat-zat radioaktif di dalam suatu sampel dengan mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh suatu interaksi sinar gamma yang diemisikan oleh zat-zat radioaktif tersebut melalui sebuah detektor. Metode tersebut dapat digunakan untuk menghitung jumlah radiasi pada tiap-tiap tingkat atau rentang energi tertentu yang dapat dilakukan dengan menggunakan sistem spektroskopi - γ (Indrakoesoema et al., 2016). Sistem terdiri dari detektor germa-nium dengan kemurnian tinggi, model HPGe (*High Purity Germanium*). Aktivitas minimum yang dapat dideteksi (MDA) berkaitan dengan sensitivitas detektor, sejumlah aktivitas terkecil dapat dibedakan oleh perangkat dengan akurasi mencapai 95% (Al-Ghamdi et al., 2022).

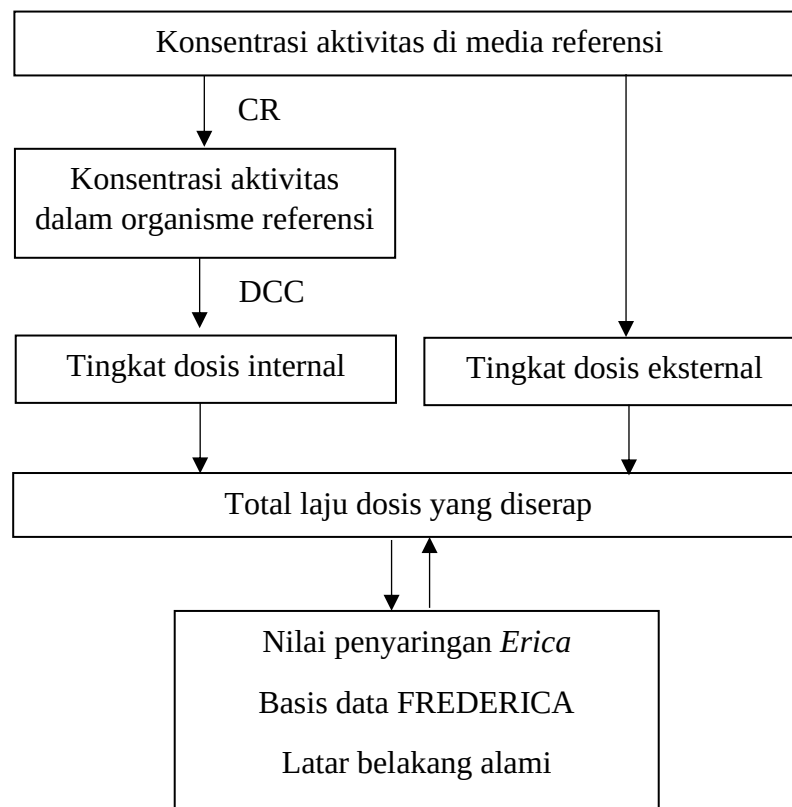
Spektrometri terdiri dari detektor radiasi - γ , rangkaian elektronik pendukung, penguat (*amplifier*) serta sebuah *interface* yang disebut *Multi Channel Analyzer* (MCA) dan menggunakan perangkat lunak khusus (*software Maestro 3.2*), komputer memiliki fungsi sebagai MCA dengan kemampuan pengolahan dan analisis yang lebih baik (Luhur et al., 2013). Pengukuran menggunakan spektrometri - γ diawali dengan proses kalibrasi energi dan efisiensi pada detektor untuk memastikan keakuratan dan kehalusan sistem spektrometri - γ dalam melakukan analisis kualitatif dan kuantitatif zat radioaktif (Sholihuddin et al., 2013). Lebih lanjut, ilustrasi teknik spektrometri - γ ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi Teknik Spektrometri - γ
 Sumber: (Al-Ghamdi et al., 2022)

2.10 Erica Tools

Erica tools adalah sistem perangkat lunak yang terkomputerisasi dan fleksibel dengan tujuan menilai risiko radiologi terhadap biota di lingkungan yang terkontaminasi radioaktif (Li et al., 2022). *Erica tools* memiliki tiga tingkatan penilaian untuk memperkirakan hasil risiko. Penilaian menggunakan *Tier 2* memungkinkan pengguna dapat menghitung laju dosis dengan lebih interaktif, sebagian besar parameter dapat dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan merujuk kepada database FREDERICA (Prlić et al., 2017). Perangkat lunak *Erica tools* dapat digunakan untuk menentukan tingkat paparan biota menggunakan kumpulan data pemantauan antara lain konsentrasi aktivitas terukur spesifik lokasi di suatu lingkungan dari dua habitat baik air dan sedimen (Prihatiningsih & Makmur, 2021). Sistem kerja *Erica tools* disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Sistem kerja pada *software Erica tools*
Sumber: *ERICA Assessment Tool Help Documentation*

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

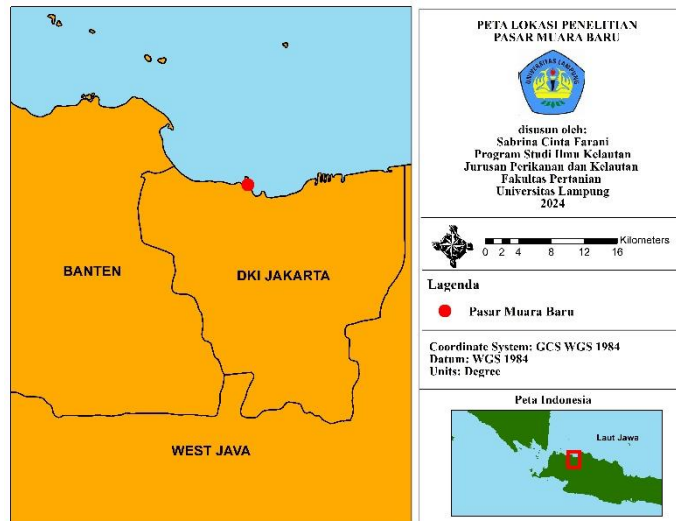
Waktu dan tempat penelitian adalah sebagai berikut:

3.1.1 Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan dari bulan Agustus hingga Desember 2024.

3.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di dua tempat, yaitu pengambilan sampel dilakukan di Pasar Muara Baru, Kec. Penjaringan, Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta dan penentuan konsentrasi ^{137}Cs dilaksanakan di Laboratorium Radioekologi Kelautan, Pusat Riset Teknologi, Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir, Badan Riset Inovasi Nasional (PRTKMMN-ORTN-BRIN) yang berlokasi di Jl. Raya Serpong, Muncul, Kec Setu, Kota Tangerang Selatan. Peta lokasi pengambilan sampel disajikan pada gambar (Gambar 9).



Gambar 9. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah *P. erumei* sebanyak 10 kg, *T. tonggol* sebanyak 10 kg, dan referensi standar *fish flash* IAEA-414 sebanyak 366 gr.

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Alat yang digunakan pada penelitian.

No	Nama Alat	Konsentrasi	Merek	Fungsi/Kegunaan
1.	Spektrometri γ	Energi 661 keV	Canberra tipe GX2018	Untuk mencacah (<i>counting</i>) sampel ikan
2.	Spidol	Ukuran 20 ml	Snowman	Untuk memberikan keterangan pada sampel
3.	Plastik Zip	Ukuran 30 x 45 cm	C-TIK	Untuk wadah penyimpanan sampel

No	Nama Alat	Konsentrasi	Merek	Fungsi/Kegunaan
4.	Timbangan Analitik	Kapasitas 2 kg	Labtronic GL 1002	Untuk menimbang bobot ikan
5.	<i>Chopper Blender</i>	Kapasitas 2 L	Mitochiba	Untuk menghaluskan sampel
6.	<i>Conical</i>	Ukuran 900 ml, 300 ml, 150 ml	Labconco	Untuk wadah sampel pada saat perlakuan di <i>freeze dryer</i>
7..	<i>Freeze Dryer</i>	Suhu -80°C	Labconco	Untuk menghilangkan kadar air pada sampel dengan cara pendinginan

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian yang digunakan tergolong kuantitatif. Menurut Sugiyono (2017), penelitian kuantitatif merupakan jenis penelitian yang digunakan untuk meneliti populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian dengan analisis data bersifat statistik untuk mendapatkan sebuah kesimpulan. Populasi penelitian menggunakan sampel ikan *P. erumei* dan *T. tonggol*. Sampel diambil menggunakan teknik *purposive sampling*. Teknik analisis data selanjutnya disesuaikan dengan metode statistik deskriptif.

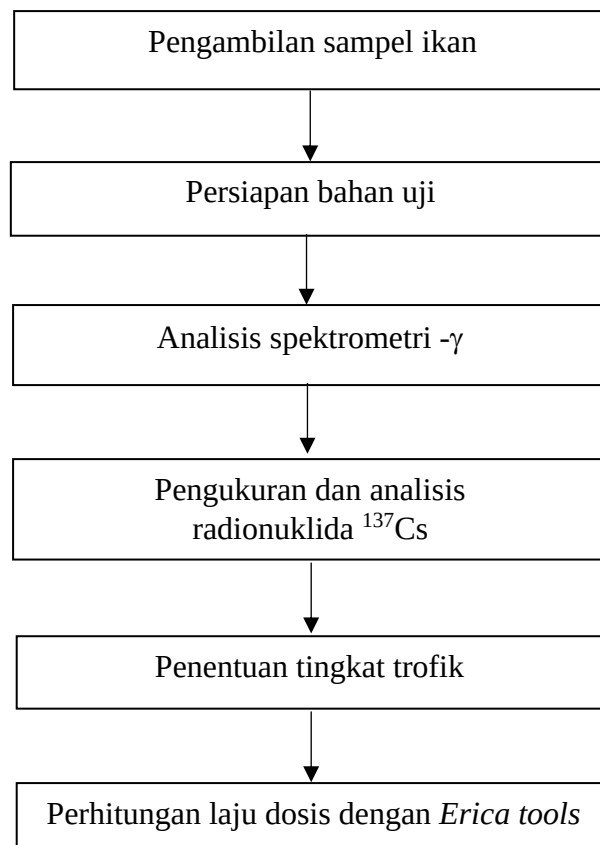
3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian secara umum adalah sebagai berikut:

3.4.1 Pengambilan Sampel Ikan

Pengambilan sampel untuk dianalisis rata-rata konsentrasi aktivitas radio-nuklida ^{137}Cs dilakukan secara *purposive sampling*. *Purposive sampling* merupakan pengambilan sampel penilaian yang selektif dan subjektif dengan mengandalkan penilaian data yang akan dipelajari (Firmansyah & Dede, 2022). Teknik tersebut dipilih karena mempertimbangkan sampel dari populasi telah ditentukan. Sampel ikan yang diambil adalah ikan segar dengan bobot total sekitar 10 kg untuk berat basah setiap spesies. Sampel ikan *P. erumei* dan *T. tonggol* yang digu-

nakan berasal dari pedagang besar di Pasar Ikan Muara baru, Kec. Penjaringan, Jakarta Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta. Sampel yang sudah diambil kemudian segera dibekukan atau didinginkan untuk menjaga kualitas ikan agar tetap stabil, Daging ikan yang telah lumat dikemas dan dibawa ke laboratorium untuk dilanjutkan proses persiapan bahan uji. Kemudian dilanjutkan analisis kualitatif dan kuantitatif sampel radionuklida pemancar partikel $-\gamma$ dengan menggunakan spektrometri $-\gamma$, pengukuran dan analisis radionuklida ^{137}Cs dengan rumus persamaan, penentuan tingkat trofik dengan *website* (www.fishbase.com) dan perhitungan laju dosis dengan *Erica tools* sesuai dengan prosedur penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Prosedur penelitian secara umum

3.4.2 Persiapan Bahan Uji

Sampel *P. erumei* dan *T. tonggol* yang telah diambil selanjutnya dilakukan persiapan bahan uji di Laboratorium Radioekologi Kelautan, Pusat Riset Teknologi, Metrologi, Keselamatan dan Mutu Nuklir-BRIN. Pada tahap awal, sampel dibersihkan terlebih dahulu dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran, pasir, lumpur. Kemudian dipisahkan/difillet bagian daging, tulang dan organ serta dipecah menjadi bagian-bagian kecil. Proses dilakukan dengan dipilih bagian ikan yang biasa dikonsumsi (dagingnya/terutama bagian otot). Daging ikan yang telah dipisahkan kemudian dihancurkan menggunakan *chopper/blender*, lalu dikemas menggunakan plastik *zip*. Penimbangan bobot total daging ikan dapat dilakukan hingga proses pembekuan menggunakan *freezer*. Selanjutnya sampel daging yang telah beku dimasukkan ke dalam *conical* berukuran 900 ml sebanyak 500 gr, 300 ml sebanyak 150 gr dan 150 ml sebanyak 50 gr dan dilengkapi dengan kertas filtrasi. Pengeringan beku dapat dilakukan dengan menggunakan *freeze dryer* dengan suhu -80°C selama 1-2 minggu hingga memperoleh rasio massa kering. Sampel ikan yang sudah kering dapat dihaluskan menggunakan *chooper/blender* dan dipindahkan ke marinelli. Sampel dapat disimpan pada suhu ruangan untuk hingga dilakukan analisis spektrometri $-\gamma$.

3.4.3 Analisis Spektrometri $-\gamma$

Analisis kualitatif dan kuantitatif sampel radionuklida pemancar partikel $-\gamma$ dilakukan menggunakan spektrometri $-\gamma$, germanium kemurnian tinggi HPGE Canberra tipe GX2018 berbasis komputer yang terhubung dengan sebuah perangkat lunak dengan efisiensi pencacahan berkisar antara 20-25%, dilengkapi dengan perangkat lunak Genie-2000 (Akram et al., 2005; Diab et al., 2019; Makmur et al., 2019). Detektor dikalibrasi menggunakan standar kalibrasi multi gamma. Detektor akan merekam radiasi gamma yang dihasilkan peluruhan radioaktif ^{137}Cs pada sampel. Data radiasi gamma yang direkam oleh detektor kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi energi radiasi yang sesuai dengan peluruhan ^{137}Cs . Hal tersebut dilakukan dengan membandingkan spektrum radiasi yang diukur dengan

spektrum standar yang telah diketahui untuk ^{137}Cs . Rentang energi yang digunakan untuk mengetahui besaran konsentrasi radionuklida ^{137}Cs dapat diukur melalui puncak spektrum yaitu 661,66 keV. Setelah analisis selesai, hasil pengukuran konsentrasi ^{137}Cs dalam sampel ikan dilaporkan dalam unit yang sesuai, seperti Bq/kg (Becquerel per kilogram).

3.4.4 Pengukuran dan Analisis Radionuklida ^{137}Cs

Pada penelitian dilakukan perhitungan konsentrasi radioaktivitas ^{137}Cs dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (IAEA 1989; Jibiri et al. 2023; Khandaker et al. 2013; Silva et al. 2021).

$$A_n = \frac{R_n}{\varepsilon \times P_\gamma \times M} \quad (1)$$

$$R_n = R_T - R_b \quad (1.1)$$

$$\varepsilon = \frac{N/T}{A \times P_\gamma} \quad (1.2)$$

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t} \quad (1.3)$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (1.4)$$

Keterangan:

A_n = Radioaktivitas radionuklida n pada sampel ikan dan air laut (Bq/kg dan Bq/l)

R_n = Laju hitungan akhir radionuklida n (*count/s*)

R_T = Laju hitungan awal radionuklida n (*count/s*)

R_b = Laju hitungan latar belakang untuk radionuklida n (*count/s*)

P_γ = Probabilitas transisi absolut dengan peluruhan gamma (< 1)

M = Massa ikan dan volume air laut

ε = Efisiensi radionuklida

N/T = Laju hitungan akhir radionuklida n dari standar yang digunakan (*count/s*)

A = Radioaktivitas yang ada setelah waktu standar yang digunakan (Bq)

- A_0 = Radioaktivitas awal dari standar yang digunakan (Bq)
 t = Waktu dari tanggal produksi hingga tanggal penghitungan standar yang digunakan (s)
 λ = Konstanta peluruhan
 $T_{1/2}$ = Waktu paruh radionuklida n (s)

Hasil perhitungan konsentrasi aktivitas radionuklida ^{137}Cs pada *P. erumei* dan *T. tonggol* dibandingkan dengan standar baku mutu pada Peraturan Kementerian Kesehatan No.1031 Tahun 2011. Selanjutnya dilakukan analisis biomagnifikasi pada tingkat trofik pada jenis ikan *T. tonggol* dan *Psettodes erumei*.

3.4.5 Penentuan Tingkat Trofik

Penentuan tingkat trofik pada *P. erumei* dan *T. tonggol* diperoleh melalui (www.fishbase.com). *Fish base* merupakan sebuah basis data global yang menyediakan informasi tentang spesies ekologi, biologi, metabolisme, pemangsa, ekotoksikologi, reproduksi bahkan pertumbuhan ikan.

3.4.6 Perhitungan Laju Dosis dengan *Erica tools*

Perangkat *Erica tools* dipilih untuk mengkaji dampak radiologi terhadap biota dengan menghitung laju dosis yang diterima dari radionuklida ^{137}Cs (Makmur et al., 2020). Pada penelitian, *tier 2* dipilih untuk menghitung laju dosis dengan mengubah parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan termasuk dimensi, konsentrasi rasio (CR), koefisien distribusi (Beresford et al., 2007). Perhitungan laju dosis spesies yang digunakan antara lain *P. erumei* dan *T. tonggol* yang didaratkan di Pasar Muara Baru, Jakarta Utara sebagai data primer, serta spesies lainnya sebagai data insitu antara lain pada wilayah regional *E. alletteratus* yang berasal dari Sumatra dan Jawa serta wilayah global *M. achne* dan *P. olivaceus* yang berasal dari Jepang. Inputan geometri pada masing-masing spesies disesuaikan mendekati nilai sebenarnya. Hasil penilaian laju dosis dibandingkan dengan *screening level* berdasarkan IAEA sebesar $10 (\mu\text{Gy}/\text{h})^{-1}$. Melalui

perbandingan *screening level*, maka dapat diketahui batas aman kategori laju dosis.

3.5 Analisis Data

Analisis yang digunakan adalah analisis studi kepustakaan dan analisis deskriptif. Studi kepustakaan merupakan teknik analisis dengan mengumpulkan data, pus-taka, serta informasi yang berkaitan dengan masalah yang sedang diteliti (Prastowo, 2012). Lebih lanjut, dilakukan juga analisis deskriptif. Analisis deskriptif merupakan metode yang berisikan kumpulan informasi dan penggambaran suatu data (Martias, 2021).

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan yaitu:

1. rata-rata konsentrasi aktivitas ^{137}Cs yang didaratkan di Pasar Muara Baru, Jakarta Utara pada *P. erumei* dan *T. tonggol* masih sesuai dengan standar baku mutu yang diperkenankan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1031 Tahun 2011.
2. tinggi rendahnya rata-rata konsentrasi aktivitas ^{137}Cs yang didaratkan di Pasar Muara Baru, Jakarta Utara pada *P. erumei* dan *T. tonggol* berkaitan dengan perbedaan habitat dengan trofik level yang sama masing-masing 4,4 dan 4,5.
3. laju dosis internal dan eksternal yang diterima biota lebih kecil dibandingkan nilai *screening value* yang sebesar $10 (\mu\text{Gy}/\text{h})^{-1}$, perolehan hasil menunjukkan bahwa nilai konsentrasi aktivitas maksimum radionuklida ^{137}Cs tidak memberikan risiko signifikan terhadap biota dan masih dalam kategori aman.

5.2 Saran

Penelitian masih terdapat beberapa kekurangan, untuk bentuk penyempurnaan terdapat beberapa hal yang perlu ditambahkan yaitu dengan terus melakukan pembaharuan penelitian mengenai pengukuran konsentrasi aktivitas ^{137}Cs pada produk perikanan. Terlebih lagi, jika dilengkapi alat penilaian risiko radiologis seperti *Erica tools* sehingga dapat digunakan sebagai data pendukung untuk mengetahui tingkat keamanan bahan pangan. Dengan demikian, diharapkan adanya keseimbangan penelitian antara kompartemen air, laut dan biota. Selain hal

tersebut, perlu adanya pengawasan serta monitoring secara berkala oleh pemerintah terhadap kualitas perairan dan kualitas ikan konsumsi agar tetap aman untuk dikonsumsi masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdussamad, E. M., Koya, K. P. S., Ghosh, S., Rohit, P., Joshi, K. K., Manojkumar, B., Prakasan, D., Kemparaju, S., Elayath, M. N. K., Dhokia, H. K., Sebastine, M., & Bineesh, K. K. (2012). Fishery, biology and population characteristics of longtail tuna, *Thunnus tonggol* (Bleeker, 1851) caught along the Indian coast. *Indian Journal of Fisheries*, 59(2), 7–16.
- Adela, S., Ghofar, A., Program, D., Manajemen, S., Perairan, S., Perikanan, J., Perikanan, F., Kelautan, I., Diponegoro, U., & Soedarto, J. (2016). Komposisi ikan yang tertangkap dengan cantrang serta aspek biologi ikan sebelah (*Psettodes erumei*) di Tpi Asemdayong, Pemalang. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 5(1), 52–61.
- Ahmed, S. N. (2007). *Physics and engineering of radiation detection*. Academic Press. 757 hlm.
- Akhadi, M. (2021). *Radioekologi Radionuklida Kosmogenik*. Deepublish.
- Alamsjah, M. A., Kusumaningrum, G. A., & Masithah, E. D. (2014). Uji kadar albumin dan pertumbuhan ikan gabus (*Channa striata*) dengan kadar protein pakan komersial yang berbeda [albumin level test and snakehead]. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 6(1), 25–30. <https://doi.org/10.20473/jipk.v6i1.11377>
- Alamsyah, N., Iqbal, T. H., Damora, A., Batubara, A. S., & Muchlisin, Z. A. (2020). Variasi morfometrik ikan tongkol abu-abu (*Thunnus tonggol*) di perairan laut Aceh. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Perikanan Unsyiah*, 5(1), 34–33. <https://jim.usk.ac.id/fkp/article/view/15010>
- Almohdar, E., & Souisa, F. N. J. (2018). Komposisi jenis dan tingkat trofik (*trophic level*) hasil tangkapan bagan di Perairan Desa Ohoililir, Kabupaten Maluku Tenggara. *JURNAL Sumberdaya Akuatik Indopasifik*. 43. <https://doi.org/10.30862/jsai-fpik-unipa.2017.vol.1.no.2.39>
- Al-Ghamdi, H., El-Nahal, M. A., Saleh, I. H., Elsafi, M., Sayyed, M. I., & Almuqrin, A. H. (2022). Determination of ²³⁸U and ⁴⁰K radionuclide concentrations in some granite rocks by gamma spectroscopy and energy dispersive x-ray analysis. *Materials*, 15(15), 5130. <https://doi.org/10.3390/ma15155130>
- Alipour, H., & Banagar, G. (2018). Health risk assessment of selected heavy metals in some edible fishes from Gorgan Bay, Iran. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 17(1), 21–34.
- Alkatiri, A., Suseno, H., Hudiyono, S., & Moersidik, S. S. (2019). The distribution of radiocesium in the Indian ocean and its relation to the exit

- passage of the Indonesian Throughflow. *Regional Studies in Marine Science*, 25, 100496. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.100496>
- Almohdar, E., & Souisa, F. N. J. (2018). Komposisi jenis dan tingkat trofik (trophic level) hasil tangkapan bagan di Perairan Desa Ohoililir, Kabupaten Maluku Tenggara. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 43. <https://doi.org/10.30862/jsai-fpik-unipa.2017.vol.1.no.2.39>
- Ambe, D., Kaeriyama, H., Shigenobu, Y., Fujimoto, K., Ono, T., Sawada, H., Saito, H., Miki, S., Setou, T., Morita, T., & Watanabe, T. (2014). Fiveminute resolved spatial distribution of radiocesium in sea sediment derived from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant. *Journal of Environmental Radioactivity*, 138, 264–275. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.09.007>
- Ananda, R., Putro, W. R., & Cecilia, A. 2024. Studi kelayakan atmosphere pasar ikan modern sebagai pembaharuan pasar ikan tradisional (komparasi pasar ikan modern Muara Baru dan pasar grosir ikan Muara Angke). *Jurnal Seni dan Reka Rancang: Jurnal Ilmiah Magister Desain*. 7(1), 109-120. <https://doi.org/10.25105/jsrr.v7i1.18348>
- Ananyeva, T. V., Fedonenko, O. V., & Shapovalenko, Z. V. (2016). Migracija radionuklidiv u molodi plitki zvizhajnoj na akvatorii Zaporizkogo vodoshovishha. *Pitannja bioindikacii ta ekologii. Zaporizhzhja: ZNU*, 21(1-2), 110-121.
- Aoyama, M., Tsumune, D., Inomata, Y., & Tateda, Y. (2020). Mass balance and latest fluxes of radiocesium derived from the fukushima accident in the Western North Pacific Ocean and coastal regions of Japan. *Journal of Environmental Radioactivity*, 217, 106206. <https://doi.org/10.1016/J.JENVRAD.2020.106206>
- Aryanti, C. A., Suseno, H., Muslim, M., Prihatiningsih, W. R., & Yahya, M. N. (2022). Concentration of Natural radionuclide and potential radiological dose of ²²⁶Ra to marine organism in Tanjung Awar-Awar, Tuban coal fired power plant. *Jurnal Segara*, 17(3), 195. <https://doi.org/10.15578/segara.v17i3.10555>
- Ashraf, M. A., Akib, S., Maah, M. J., Yusoff, I., & Balkhair, K. S. (2014). Cesium-137: Radio-chemistry, fate, and transport, remediation, and future concerns. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(15), 1740–1793. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.790753>
- Ashraf, M. A., Khan, A. M., Ahmad, M., Akib, S., Balkhair, K. S., & Bakar, N. K. A. (2014). Retracted article: Release, deposition and elimination of radiocesium (¹³⁷Cs) in the terrestrial environment. *Environmental Geochemistry and Health*, 36(6), 1165–1190. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9811-7>
- Atmadipoera, A., Molcard, R., Madec, G., Wijffels, S., Sprintall, J., KochLarrouy, A., Jaya, I., & Supangat, A. (2009). Characteristics and variability of the Indonesian throughflow water at the outflow straits. *Deep-Sea Research*

Part I: Oceanographic Research Papers, 56(11), 1942–1954.
<https://doi.org/10.1016/j.dsr.2009.06.004>

- Aziz, M., Hidayanto, E., & Lestari, D. D. (2015). Penentuan aktivitas ^{60}Co dan ^{137}Cs pada sampel unknown dengan menggunakan detektor HPGe. *Youngster Physics Journal*, 4(2), 189–196.
<https://doi.org/10.2/jquery.min.js>
- Aziz, N. A., Ghazali, A., Fong, S. S., Ahmad, N. I., & Chuan, O. M. (2024). Size and organ-specific heavy metal accumulation (*Thunnus tonggol*) from trengganu. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 28(1), 106–115.
- Bachtiar, R. R., Sachoemar, S., & Muhami, M. (2023). Traceability dan keamanan pangan ikan tuna (*Thunnus sp.*) dan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di wilayah DKI Jakarta berdasarkan standar penanganan SNI 2729 tahun 2013. In *Technopex 2022*. (2).
https://library.iti.ac.id/opac/index.php?p=show_detail&id=83213
- Bae, H. S., Kang, I. G., Lee, S. G., Eom, S. Y., Kim, Y. D., Oh, S. Y., Kwon, H. J., Park, K. S., Kim, H., Choi, B. S., Yu, I. J., & Park, J. D. (2016). Arsenic exposure and seafood intake in Korean adults. *Human & Experimental Toxicology*, 36(5), 451–460.
<https://doi.org/10.1177/0960327116665673>
- Bailly du Bois, P., Laguionie, P., Boust, D., Korsakissok, I., Didier, D., & Fiévet, B. (2012). Estimation of marine source-term following Fukushima Dai-ichi accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 114, 2–9.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.11.015>
- Barokah, L., Solichin, A., & Suprpto, D. (2016). Aspek biologi ikan sebelah yang didaratkan di Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Tawang, Kabupaten Kendal. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 5(4), 216–223. <https://doi.org/10.14710/marj.v5i4.14410>
- Baumann, Z., & Fisher, N. S. (2011). Modeling metal bioaccumulation in a deposit-feeding polychaete from labile sediment fractions and from pore water. *Science of The Total Environment*, 409(13), 2607–2615.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.03.009>
- Belyaev, V. V., Volkova, O. M., Gudkov, D. I., Prishlyak, S. P., & Skyba, V. V. (2023). Radiation dose reconstruction for higher aquatic plants and fish in Glyboke Lake during the early phase of the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 263.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2023.107169>
- Beresford, N. A., Yankovich, T. L., Wood, M. D., Fesenko, S., Andersson, P., Muikku, M., & Willey, N. J. (2013). A new approach to predicting environmental transfer of radionuclides to wildlife: a demonstration for freshwater fish and caesium. *Science of The Total Environment*, 463, 284–292. www.ERICA-project.org

- Beresford, N. A., Appleton, J. D., Barnett, C. L., Bescoby, M. W., Breward, N., Jones, D. G., ... & Wood, M. D. (2007). Assessment of naturally occurring radionuclides in England and Wales. *Environment Agency*. 79 hlm.
- Bergstrom, C. A., Alba, J., Pacheco, J., Fritz, T., Tamone, S. L., Carolyn Bergstrom, C. A., & Program, B. (2019). Polymorphism and multiple correlated characters: Do flatfish asymmetry morphs also differ in swimming performance and metabolic rate?. *Ecology and Evolution*, 9(8), 4772–4782. <https://doi.org/10.1002/ECE3.5080>
- Beyea, J., Lyman, E., & Hippel, F. (2004). Damages from a major release of ¹³⁷Cs into the atmosphere of the United States. *Science and Global Security*, 12(1–2), 125–136. <https://doi.org/10.1080/08929880490464775>
- Bezhenar, R., Tae Jung, K., Maderich, V., Willemssen, S., De With, G., & Qiao, F. (2016). Transfer of radiocaesium from contaminated bottom sediments to marine organisms through benthic food chains in post-Fukushima and post-Chernobyl periods. *Biogeosciences*, 13(10), 3021–3034. <https://doi.org/10.5194/BG-13-3021-2016>
- Børretzen, P., & Salbu, B. (2002). Fixation of Cs to marine sediments estimated by a stochastic modelling approach. *Journal of Environmental Radioactivity*, 61(1), 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(01\)00107-2](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(01)00107-2)
- BrGinting, A., Anggraini, D., Nugroho, A., Kriswarini, R., Wurdianto, G. (2014). Pembuatan isotop ¹³⁷Cs sebagai sumber radiasi gamma untuk digunakan dalam industri. *Uraina*, 20(3), 147-155.
- Bone, Q., Moore, R. (2008). *Biology of fishes*. Taylor and francis. Abingdon. 450 hlm. <https://doi.org/10.1201/9781134186310>
- Brittain, J. E., & Gjerset, J. E. (2010). Long-term trends and variation in ¹³⁷Cs activity concentrations in brown trout (*Salmo trutta*) from Øvre Heimdalsvatn, a Norwegian subalpine lake. *The Subalpine Lake Ecosystem, Øvre Heimdalsvatn, and Its Catchment: Local and Global Changes over the Last 50 Years*, 107–113. <https://doi.org/10.1007/978-90-481-9388-211>
- Brown, J. E., Alfonso, B., Avila, R., Beresford, N. A., Copplestone, D., & Hosseini, A. (2016). A new version of the Erica tool to facilitate impact assessments of radioactivity on wild plants and animals. *Journal of Environmental Radioactivity*, 153, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.12.011>
- Brown, J. E., Alfonso, B., Avila, R., Beresford, N. A., Copplestone, D., Pröhl, G., & Ulanovsky, A. (2008). The Erica tool. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(9), 1371–1383. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.01.008>
- Brown, J. E., Beresford, N. A., & Hosseini, A. (2013). Approaches to providing missing transfer parameter values in the Erica tool – How well do they

- work? *Journal of Environmental Radioactivity*, 126, 399–411.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.05.005>
- Bu, W., Zheng, J., Ketterer, M. E., Hu, S., Uchida, S., & Wang, X. (2017). Development and application of mass spectrometric techniques for ultra-trace determination of ²³⁶U in environmental samples-A review. *Analytica Chimica Acta*, 995, 1–20.
<https://doi.org/10.1016/j.aca.2017.09.029>
- Bubun, R. L., Simbolon, D., Nurani, T. W., & Wisudo², S. H. (2016). Tropik level pada daerah penangkapan ikan yang menggunakan *light fishing* di Perairan Sulawesi Tenggara. *Marine Fisheries: Journal of Marine Fisheries Technology and Management*, 5(1), 57–76.
<https://doi.org/10.29244/jmf.5.1.57-76>
- Buesseler, K., Aoyama, M., & Fukasawa, M. (2011). Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity. *Environmental Science and Technology*, 45(23), 9931–9935.
https://doi.org/10.1021/es202816c/suppl_file/es202816c_si_001.pdf
- Buesseler, K. O. (2014). Fukushima and ocean radioactivity. *Oceanography*, 27(1), 92–105. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2014.02>
- Buesseler, K. O., Jayne, S. R., Fisher, N. S., Rypina, I. I., Baumann, H., Baumann, Z., Breier, C. F., Douglass, E. M., George, J., Macdonald, A. M., Miyamoto, H., Nishikawa, J., Pike, S. M., & Yoshida, S. (2012). Fukushima-derived radionuclides in the ocean and biota off Japan. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(16), 5984–5988. <https://doi.org/10.1073/pnas.1120794109>
- Burger, A. (2019). Strontium in the environment: Strontium in the environment: Review about reactions of plants towards stable and radioactive strontium isotopes. *Science of the Total Environment*. 653, 1458-1512.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.312>
- Byrum, S. L., & Inozu, B. (2017). *High reliability for a highly unreliable world: Preparing for code blue through daily operations in healthcare*. CreateSpace Independent Publishing Platform. 572 hlm.
- Canu, I. G., Laurent, O., Pires, N., Laurier, D., & Dublineau, I. (2011). Health effects of naturally radioactive water ingestion: the need for enhanced studies. *Environmental Health Perspectives*, 119(12), 1676–1680.
<https://doi.org/10.1289/ehp.1003224>
- Cao, Y., Zhou, L., Ren, H., & Zou, H. (2022). Determination, separation and application of ¹³⁷Cs: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, 19(16), 10183.
<https://doi.org/10.3390/ijerph191610183>

- Choy, C. A., Popp, B. N., Hannides, C. C. S., & Drazen, J. C. (2015). Trophic structure and food resources of epipelagic and mesopelagic fishes in the north pacific subtropical gyre ecosystem inferred from nitrogen isotopic compositions. *Limnology and Oceanography*, 60(4), 1156–1171. <https://doi.org/10.1002/LNO.10085>
- Choy, C. A., Wabnitz, C. C., Weijerman, M., Woodworth-Jefcoats, P. A., & Polovina, J. J. (2016). Finding the way to the top: how the composition of oceanic mid-trophic micronekton groups determines apex predator biomass in the central North Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 549, 9-25. <https://doi.org/10.3354/meps11680>
- Christensen, V., Walters, C. J., Ahrens, R., Alder, J., Buszowski, J., Christensen, L. B., ... & Pauly, D. (2009). Database-driven models of the world's Large Marine Ecosystems. *Ecological modelling*, 220(17), 1984-1996. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.04.041>
- Colette, B. B., & Nauen, C. E. (1983). Scombrids of the world: an annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. *FAO Fisheries Synopsis*, 2(125), 46–47.
- Conti, G. O., Fallico, R., Sciacca, S., & Ferrante, M. (2015). Heavy metals in fish from the Mediterranean Sea: potential impact on diet. In *The Mediterranean Diet*, 547-562. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407849-9.00049-X>
- Cooke, M. W., Trudel, M., Gurney-Smith, H. J., Kellogg, J. P., Cullen, J. T., Francisco, B. B. A., Mercier, J. F., & Chen, J. (2022). Radioactivity concentration measurements in fish and shellfish samples from the west coast of Canada after the Fukushima nuclear accident (2011–2018). *Journal of Environmental Radioactivity*, 251–252, 106934. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2022.106934>
- Cortés, C., Periañez, R., Block, B. A., Castleton, M. R., Cermeño, P., & Dedman, S. (2024). Numerical modelling of radionuclide uptake by bluefin tuna along its migration routes in the Mediterranean Sea after a nuclear accident. *Marine Environmental Research*, 202, 106757. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106757>
- Cross, W. F., Baxter, C. V., Rosi-Marshall, E. J., Hall, R. O., Kennedy, T. A., Donner, K. C., Kelly, H. A. W., Seegert, S. E. Z., Behn, K. E., & Yard, M. D. (2013). Food-web dynamics in a large river discontinuum. *Ecological Monographs*, 83(3), 311–337. <https://doi.org/10.1890/12-1727.1>
- Davison, P. C., Checkley, D. M., Koslow, J. A., & Barlow, J. (2013). Carbon export mediated by mesopelagic fishes in the northeast Pacific Ocean. *Progress in Oceanography*, 116, 14–30. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.05.013>

- Desviana, A. T., & Wijaya, G. S. (2018). Penilaian radiologi effluent pusat sains dan teknologi akselerator (psta) ke sistem biota dengan Erica tool. *Ganendra Majalah IPTEK Nuklir*, 21(1), 1. <https://doi.org/10.17146/GND.2018.21.1.3947>
- Devy, S., & Astarani, I. (2021). Keragaman genetik ikan tongkol abu-abu (*Thunnus tonggol*) yang didaratkan di Pasar Ikan Sagulung, Batam, Kepulauan Riau berdasarkan dna mitokondria. *Journal of Marine and Aquatic*, 7(2), 176–183. <https://doi.org/10.24843/JMAS.2021.V07.I02.P06>
- Diab, H. M., Ramadan, A., Monged, M. H., & Shahin, M. (2019). Environmental assessment of radionuclides levels and some heavy metals pollution along Gulf of Suez, Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(12): 12346-12358. <https://doi.org/10.1007/S11356-019-04610-7>
- Du, Y., & Qu, T. (2010). Three inflow pathways of the Indonesian throughflow as seen from the simple ocean data assimilation. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 50(2), 233–256. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2010.04.001>
- Duran, A., Tuzen, M., & Soylak, M. (2014). Assessment of trace metal concentrations in muscle tissue of certain commercially available fish species from Kayseri, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(7), 4619–4628. <https://doi.org/10.1007/S10661-014-3724-7/metrics>
- Evans, K. M., Larouche, O., Watson, S. J., Farina, S., Habegger, M. L., & Friedman, M. (2021). Integration drives rapid phenotypic evolution in flatfishes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(18). <https://doi.org/10.1073/pnas.2101330118>
- Fachrurrazi, T., Miswar, E., Mustaqim, M., Nur, F. M., Batubara, A. S., & Muchlisin, Z. A. (2019). Effect of different bait on the catchment of eels *Anguilla marmorata* in the Brayeun River, Aceh Besar district, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 348(1), 012061.
- FAO (2019). A quarterly update on world seafood markets April 2019 issue, with January-December 2018 Statistics. *Globefish Highlights*. 76 hlm.
- FAO (2020). Globefish trade statistics-tuna. *Globefish Highlights*. 255 hlm.
- Filgueiras, R., Garcêz, R., Da Silva, L., Lopes, J., Lauria, D., Ribeiro, F., Viglio, E. P., & Da Silva, A. X. (2021). ¹³⁷Cs activity concentration in soil of Alagoas State, Brazil. *Applied Radiation and Isotopes*, 170, 109607. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109607>
- Firmansyah, D., & Dede. (2022). Teknik pengambilan sampel umum dalam metodologi penelitian: literature review. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Holistik (JIPH)*, 1(2), 85–114. <https://doi.org/10.55927/JIPH.V1I2.937>

- Friedman, M. (2008). The evolutionary origin of flatfish asymmetry. *Nature*, 454(7201), 209–212. <https://doi.org/10.1038/nature07108>
- Froese, R., & Pauly, D. (2024). Taking stock of global fisheries. *Science*, 385(6711), 824–825. <https://doi: 10.1126/science.adr5487>
- Garnier-Laplace, & M Gilek. (2004). Assessing ecological effects of radionuclides: data gaps and extrapolation issues. *Journal of Radiological Protection*. 24(4A), A139. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/09524746/24/4A/009/meta>
- Galimberti, C., Corti, I., Cressoni, M., Moretti, V. M., Menotta, S., Galli, U., & Cambiaghi, D. (2016). Evaluation of mercury, cadmium and lead levels in fish and fishery products imported by air in North Italy from extra-European Union Countries. *Food Control*, 60, 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.009>
- Ghanbarzadeh, M., Kamrani, E., Ranjbar, M. S., Salarpouri, A., & Walters, C. (2021). Reproductive biology of Indian halibut, *Psettodes erumei* from the northern Persian Gulf and Oman Sea (Teleostei: Psettodidae). *Iranian Journal of Ichthyology*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.22034/IJI.V8I1.434>
- Ginting, A. B., Anggraini, D., Nugroho, A., Kriswarini, R., & Wurdianto, G. 2016. Pembuatan Isotop ¹³⁷Cs Sebagai Sumber Radiasi Gamma Untuk Digunakan Dalam Industri. *Urania: Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*. 20(3).
- Görür, F., Keser, R., Akçay, N., & Chemosphere, S. D. (2012). Radioactivity and heavy metal concentrations of some commercial fish species consumed in the Black Sea Region of Turkey. *Chemosphere*, 87(4), 356–361. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.12.022>
- Griffiths, S. P. (2010). Stock assessment and efficacy of size limits on longtail tuna (*Thunnus tonggol*) caught in Australian waters. *Fisheries Research*, 102(3), 248–257.
- Griffiths, S. P., Fry, G. C., Manson, F. J., Lou Griffiths, D. C., Griffiths, S. P., Fry, G. C., & Manson, F. J. (2010). Age and growth of longtail tuna (*Thunnus tonggol*) in tropical and temperate waters of the central Indo-Pacific. *ICES Journal of Marine Science*, 67(1), 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.12.004>
- Griffiths, S. P., Zischke, M. T., Van Der Velde, T., & Fry, G. C. (2019). Reproductive biology and estimates of length and age at maturity of longtail tuna (*Thunnus tonggol*) in Australian waters based on histological assessment. *Marine and Freshwater Research*, 70(10), 1419–1426. <https://doi.org/10.1071/mf18469>

- Hansman, R. L., Metian, M., Pouil, S., Oberhänsli, F., Teyssié, J. L., & Swarzenski, P. W. (2018). A double-tracer radioisotope approach to assess simultaneous bioaccumulation of caesium in the olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Journal of Environmental Radioactivity*, 190–191, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.05.014>
- Hidayat, T., Boer, M., Kamal, M. M., Zairion, & Suman, A. (2023). Morfometric character of longtail tuna (*Thunnus tonggol*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1224(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1224/1/012013>
- Hidayat, T., Boer, M., Kamal, M., Zairion, undefined, & Suman, A. (2020). Population dynamics of longtail tuna (*Thunnus tonggol*) in the Java sea and adjacent waters. *AACL Bioflux*, 13(3), 1428–1436. <http://www.bioflux.com.ro/aac>
- Howard, B. J., Beresford, N. A., Copplestone, D., Telleria, D., Proehl, G., Fesenko, S., Jeffree, R. A., Yankovich, T. L., Brown, J. E., Higley, K., Johansen, M. P., Mulye, H., Vandenhove, H., Gashchak, S., Wood, M. D., Takata, H., Andersson, P., Dale, P., Ryan, J., ... Wells, C. (2013). The IAEA handbook on radionuclide transfer to wildlife. *Journal of Environmental Radioactivity*, 121, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.01.027>
- Honda, M. C., Kawakami, H., Watanabe, S., & Saino, T. (2013). Concentration and vertical flux of Fukushima-derived radiocesium in sinking particles from two sites in the Northwestern Pacific Ocean. *Biogeosciences*, 10(6), 3525–3534. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3525-2013>
- Hutama, P. B. P., Muslim, M., Suseno, H., & Wahyono, I. B. (2013). Distribusi radionuklida ¹³⁷Cs di Perairan Selat Panaitan–Selatan Garut. *Journal of Oceanography*, 2(3), 221–227. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/4562/4387>
- IAEA. (1989). *Measurement of radionuclides in food and the environment*. Vienna: International Atomic Energy Agency. 189 hlm.
- Indrakoesoema, K., Sudirman, A., & Selatan, T. (2016). Evaluation of memory performance of spectrometer gamma system. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir*, 75–81. <https://inis.iaea.org/records/cvg6m-w6b49>
- Inoue, M., Kofuji, H., Hamajima, Y., Nagao, S., Yoshida, K., & Yamamoto, M. (2012). ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs activities in coastal seawater along Northern Sanriku and Tsugaru Strait, northeastern Japan, after Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 116–119. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2011.09.012>

- Irawan, D., Putra, P., & Suseno, H. (2017). Marine radioecology in Bali and Lombok Waters: present status of ^{137}Cs and natural radionuclides in Lombok Strait. *Omni-Akuatika*, 13, 180-189. <https://doi.org/10.20884/1.oa.2017.13.2.251>
- Ishii, N., Furota, T., Tagami, K., Murakami, M., & Ohte, N. (2024). Factors of the slow decline in the activity concentration of ^{137}Cs in eutrophic lake water. *ACS ES & T Water*, 4(4), 1274–1283. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.3c00338/asset/images/large/ew3c003380004.jpeg>
- Ishii, Y., Matsuzaki, S. ichiro S., & Hayashi, S. (2020). Different factors determine ^{137}Cs concentration factors of freshwater fish and aquatic organisms in lake and river ecosystems. *Journal of Environmental Radioactivity*, 213, 106102. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106102>
- Isinkaye, M. O., & Emelue, H. U. (2015). Natural radioactivity measurements and evaluation of radiological hazards in sediment of Oguta Lake, South East Nigeria. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(3), 459–469.
- Jalil, A. R. (2013). Distribusi kecepatan arus pasang surut pada muson peralihan barat-timur terkait hasil tangkapan ikan pelagis kecil di Perairan Spermonde. *Depik*, 2(1), 26–32. <https://doi.org/10.13170/depik.2.1.583>
- Janković, M. M., Todorović, D. J., Sarap, N. B., Nikolić, J. D. K., Rajacić, M. M., & Pantelić, G. K. (2016). Natural radionuclides in waste water discharged from coal-fired power plants in Serbia. *Water Science and Technology*, 74(11), 2634–2638. <https://doi.org/10.2166/WST.2016.436>
- Jibiri, N. N., Ugbechie, A., Sowunmi, A. A., & Akomolafe, I. R. (2023). Radionuclide contents in sediment and seafood from Makoko Lagoon, Lagos State, Nigeria. *Marine Pollution Bulletin*, 192, 114992. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114992>
- Johansen, M. P., Ruedig, E., Tagami, K., Uchida, S., Higley, K., & Beresford, N. A. (2015). Radiological dose rates to marine fish from the Fukushima Daiichi accident: The first three years across the north Pacific. *Environmental Science and Technology*, 49(3), 1277–1285. <https://doi.org/10.1021/es505064d>
- Kasamatsu, F., & Ishikawa, Y. (1997). Natural variation of radionuclide ^{137}Cs concentration in marine organisms with special reference to the effect of food habits and trophic level. *Marine Ecology Progress Series*, 160, 109–120. <https://doi.org/10.3354/meps160109>
- Kaswadji, R., Hatta, M., & Umar, N. A. (2012). Penyusunan model untuk penangkapan berkelanjutan ikan pelagis dengan pendekatan jenjang trofik di

- Selat Makassar. *Jurnal Natur Indonesia*, 12(1), 67.
<https://doi.org/10.31258/jnat.12.1.67-74>
- Kaur, I., Gupta, A., Singh, B. P., Sharma, S., & Kumar, A. (2019). Assessment of radon and potentially toxic metals in agricultural soils of Punjab, India. *Microchemical Journal*, 146, 444–454.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.01.028>
- Kawamura, H., Kobayashi, T., Furuno, A., Usui, N., & Kamachi, M. (2014). Numerical simulation on the long-term variation of radioactive cesium concentration in the North Pacific due to the Fukushima disaster. *Journal of Environmental Radioactivity*, 136, 64–75.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.05.005>
- Kementerian Kelautan Perikanan. (2022). Data Produksi Perikanan Tangkap Laut. Jakarta: KKP.
- Khan, M. F., & Wesley, S. G. (2012). Biomonitoring fallout ^{137}Cs in resident and migratory fishes collected along the southern coast of India and assessment of dose. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(5), 2993–3011. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2166-8/figures/11>
- Khandaker, M. U., Wahib, N. B., Amin, Y. M., & Bradley, D. A. (2013). Committed effective dose from naturally occurring radionuclides in shellfish. *Radiation Physics and Chemistry*, 88, 1–6.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.02.034>
- Kunal, S. P., Kumar, G., Menezes, M. R., & Meena, R. M. (2014). Genetic homogeneity in longtail tuna *Thunnus tonggol* (Bleeker, 1851) from the northwest coast of India inferred from direct sequencing analysis of the mitochondrial DNA D-loop region. *Marine Biology Research*, 10(7), 738–743. <https://doi.org/10.1080/17451000.2013.852682>
- Kurita, Y., Shigenobu, Y., & T Sakuma. (2015). Radiocesium contamination histories of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) after the 2011 Fukushima nuclear power plant accident. *Impacts of the Fukushima Nuclear Accident on Fish and Fishing Grounds*, 139-151.
<https://doi.org/10.1007/978-4-431-55537-711>
- Kurniawan, S., Muslim, M., & Suseno, H. (2014). Studi kandungan radionuklida cesium-137 (^{137}Cs) dalam sedimen di Perairan Semenanjung Muria Kabupaten Jepara. *Journal of Oceanography*, 3(1), 67–73.
<https://www.neliti.com/publications/115354>
- Kurniawati, M., Suseno, H., Kelautan, J. I., Perikanan, F., Kelautan, I., Diponegoro, U., Soedarto, J. H., & Semarang, T. (2013). Aktivitas radionuklida antropogenik ^{137}Cs di Perairan Semarang berdasarkan sirkulasi arus global. *Journal of Oceanography*, 2(1), 73–78.
<https://doi.org/10.2/jquery.min.js>

- Kusakabe, M., Oikawa, S., Takata, H., & Misonoo, J. (2013). Spatiotemporal distributions of Fukushima-derived radionuclides in nearby marine surface sediments. *Biogeosciences*, 10(7), 5019–5030. <https://doi.org/10.5194/BG10-5019-2013>
- Landry, M. R., & Décima, M. R. (2017). Protistan microzooplankton and the trophic position of tuna: quantifying the trophic link between micro- and mesozooplankton in marine foodwebs. *ICES Journal of Marine Science*, 74(7), 1885–1892. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsx006>
- Latifah, L., Suseno, H., Muslim, M., & Yahya, M. N. (2022). Studi koefisien distribusi ¹³⁷Cs di Perairan Muara Cisadane, Teluk Jakarta. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(3), 65–73. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i3.14690>
- Lee, S. H., Oh, J. S., Lee, K. B., Lee, J. M., Hwang, S. H., Lee, M. K., ... & Im, J. M. (2018). Evaluation of abundance of artificial radionuclides in food products in South Korea and sources. *Journal of Environmental Radioactivity*, 184, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.008>
- Lestari, P., Hudaidah, S., & Muhaemin, M. (2016). Pola pertumbuhan dan reproduksi ikan kuniran *Upeneus moluccensis* (Bleeker, 1855) di Perairan Lampung. *E-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*, 5(1), 567–574. <https://doi.org/10.23960/jrtbp.v5i1.1486p567-574>
- Li, J., Yu, W., He, J., & Zeng, Z. (2022). Dose rate assessment exercises with stylized phantom of neon flying squid from Northwest Pacific. *Journal of Marine Science and Engineering* 2022, 10(6), 782. <https://doi.org/10.3390/jmse10060782>
- Lorrain, A., Graham, B. S., Popp, B. N., Allain, V., Olson, R. J., Hunt, B. P. V., Potier, M., Fry, B., Galván-Magaña, F., Menkes, C. E. R., Kaehler, S., & Ménard, F. (2015). Nitrogen isotopic baselines and implications for estimating foraging habitat and trophic position of yellowfin tuna in the Indian and Pacific Oceans. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 113, 188–198. <https://doi.org/10.1016/J.DSR2.2014.02.003>
- Lubis, E. K., Sinaga, T. Y., & Susiana, S. (2021). Inventarisasi ikan demersal dan ikan pelagis yang didaratkan di PPI Kijang Kecamatan Bintan Timur Kabupaten Bintan. *Jurnal Akuatik Lestari*, 4(2), 47–57. <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v4i2.2536>
- Luhur, N., Kadarusmanto, K., & Subiharto, S. (2013). Uji banding sistem spektrofotometer gamma dengan metoda analisis sumber Eu-152. *Bulletin Pengelolaan Reaktor Nuklir*, 1, 22–30. <https://doi.org/10.17146/bprn.2013.v10i1.691>
- Maderich, V., Bezhenar, R., Heling, R., de With, G., Jung, K. T., Myoung, J. G., Cho, Y. K., Qiao, F., & Robertson, L. (2014). Regional long-term model of

- radioactivity dispersion and fate in the Northwestern Pacific and adjacent seas: application to the Fukushima Dai-ichi accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 131, 4–18.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.09.009>
- Maderich, V., Jung, K. T., Bezhenar, R., de With, G., Qiao, F., Casacuberta, N., Masque, P., & Kim, Y. H. (2014). Dispersion and fate of ⁹⁰Sr in the Northwestern Pacific and adjacent seas: Global fallout and the Fukushima Dai-ichi accident. *Science of The Total Environment*, 494–495, 261–271.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.13>
- Maderich, V., Kim, K. O., Bezhenar, R., Jung, K. T., Martazinova, V., & Brovchenko, I. (2021). Transport and fate of ¹³⁷Cs released from multiple sources in the north atlantic and arctic oceans. *Frontiers in Marine Science*, 8, 806450. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.806450/bibtex>
- Madigan, D. J., Baumann, Z., & Fisher, N. S. (2012). Pacific bluefin tuna transport Fukushima-derived radionuclides from Japan to California. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(24), 9483–9486. <https://doi.org/10.1073/pnas.1204859109/-/dcsupplemental>
- Madigan, D. J., Baumann, Z., Snodgrass, O. E., Dewar, H., Berman-Kowalewski, M., Weng, K. C., Nishikawa, J., Dutton, P. H., & Fisher, N. S. (2017). Assessing Fukushima-derived radiocesium in migratory pacific predators. *Environmental Science and Technology*, 51(16), 8962–8971.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00680>
- Makassar, U. M., Rachma, A. J., Putri, D. A., Ulfah, M., & Saraswati, D. L. (2019). Determining the half time and analogy constants of radioactive decay on the illustration board of radioactive decay with the capacitor filling and discharging method. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(3), 306–316.
<https://doi.org/10.26618/jpf.v7i3.1707>
- Ma'mun, A., Priatna, A., Amri, K., & Nurdin, E. (2019). Hubungan antara kondisi oseanografi dan distribusi spasial ikan pelagis di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPP NRI) 712 Laut Jawa. *Jurnal Penelitian dan Perikanan Indonesia*, 25(1), 1–14.
<https://doi.org/10.15578/JPPi.25.1.2019.1-14>
- Makmur, M., & Prihatiningsih, W. R. (2020). Distribusi dan kajian dampak radionuklida ¹³⁷Cs di pesisir barat Pulau Sumatera, *Jurnal Segara*, 16(1), 29–38. <http://ejournalbalitbang.kkp.go.id/index.php/segara/article/view/7694>
- 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), 113–120.
<https://doi.org/10.14710/jkli.18.2.113-120>

- Makmur, M., Prihatiningsih, W. R., & Yahya, M. N. (2020). Distribusi dan kajian dampak radionuklida ^{137}Cs di Pesisir Barat Pulau Sumatera. *Jurnal Segara*, 16(1), 29–38. <https://doi.org/10.15578/segara.v16i1.7694>
- Malaka, M. (2019). Dampak radiasi radioaktif terhadap kesehatan. *Foramadiahi: Jurnal Kajian Pendidikan dan Keislaman*, 11(2), 199–211. <https://doi.org/10.46339/foramadiahi.v11i2.204>
- Martias, L. Statistika deskriptif sebagai kumpulan informasi. *Jurnal Ilmu Perpustakaan dan Informasi*, 16(1), 40. <https://doi.org/10.14421/fhrs.2021.161.40-59>
- Marwoto, J., Muslim, M., Aprilia, Z. D., Purwanto, P., & Makmur, M. (2019). Sebaran aktivitas radionuklida alam dalam sedimen di Perairan Sluke Rembang, Jawa Tengah. *Jurnal Kelautan Tropis*, 22(2), 141–146. <https://doi.org/10.14710/jkt.v22i2.4881>
- Masqué, P., & Nishikawa, J. (2017). Marine radioecology after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident: Are we better positioned to understand the impact of radionuclides in marine ecosystems. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.005>
- Mathews, T., & Fisher, N. S. 2008. Trophic transfer of seven trace metals in a four-step marine food chain. *Marine Ecology Progress Series*, 367, 23–33. <https://doi.org/10.3354/meps07536>
- Mavrokefalou, G., Sotiropoulou, M., Sykioti, O., Florou, H. (E), & Kitis, G. (2021). Dose rate assessment of ^{137}Cs to pelagic fish using an innovative method combining field measurements, CMEMS data and Erica assessment tool. *Rap Conference Proceedings*, (6), 56–61. <https://doi.org/10.37392/rapproc.2021.12>
- McMeans, B. C., Kadoya, T., Pool, T. K., Holtgrieve, G. W., Lek, S., Kong, H., Winemiller, K., Elliott, V., Rooney, N., Laffaille, P., McCann, K. S., & McCann, K. S. (2019). Consumer trophic positions respond variably to seasonally fluctuating environments, *Ecology*. 100(2), 10. <https://doi.org/10.1002/ECY.2570>
- Momigliano, P., Jokinen, H., Fraimout, A., Florin, A. B., Norkko, A., & Merilä, J. (2017). Extraordinarily rapid speciation in a marine fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(23), 6074–6079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1615109114>
- Mukanthi, D., Jayuska, A., Idiawati, N., & Artikel, R. (2021). Kajian kualitas air laut dan dosis cesium 137 pada biota di Pantai Gosong, Kalimantan Barat sebagai calon tapak PLTN. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 23(2), 109–117. <http://dx.doi.org/10.17146/jpen.2021.23.2.6539>

- Muslim, M., Prihatiningsih, W., & Arjana, R. A. (2016). Aktivitas ^{137}Cs dan total organik karbon dalam sedimen di sekitar Pulau Tikus Samudera Hindia. *Jurnal Keselamatan Radiasi dan Lingkungan*, 1(1), 6-10.
- Muslim, Suseno, H., & Pratiwi, M. J. (2017). Behavior of ^{137}Cs activity in the Sayung Waters, Demak, Indonesia. *Atom Indonesia*, 43(1), 41–46. <https://doi.org/10.17146/aij.2017.588>
- Muslim, Suseno, H., & Rafsani, F. (2015). Distribution of ^{137}Cs radionuclide in industrial wastes effluents of Gresik, East Java, Indonesia. *Atom Indonesia*, 41(1), 47–50. <https://doi.org/10.17146/aij.2015.355>
- Muthmainnah, M., Milvita, D., & Wiyono, M. (2020). Penentuan konsentrasi radionuklida (Ra-226, Th-232, K-40, dan Cs-137) pada bahan pangan menggunakan spektrometer gamma di Pasar Raya Kota Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 9(3), 394–400. <https://doi.org/10.25077/JFU.9.3.394400.2020>
- Nair, R. J., & Gopalakrishnan, A. (2014). A review on the fisheries, taxonomy, and status of the flatfishes in tropical waters. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 22(3), 175–183. <https://doi.org/10.1080/23308249.2014.902917>
- Nakano, M., & Povinec, P. P. (2012). Long-term simulations of the ^{137}Cs dispersion from the Fukushima accident in the world ocean. *Journal of Environmental Radioactivity*, 111, 109–115. <https://doi.org/10.1016/J.JENVRAD.2011.12.001>
- Nasution, S. Y., & Machrizal, R. (2021). Faktor kondisi dan hubungan panjang berat ikan duri (*Hexanematichthys sagor*). *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*, 4(2), 386–392. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v4i2.2622>
- Nogueira, P., Kammann, U., Schmied, S. A. K., & Aust, M. O. (2024). Comparison between the Baltic Sea and Irish Sea level of Cs-137 contamination on benthic, demersal and pelagic fish species. *Journal of Environmental Radioactivity*, 278, 107510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2024.107510>
- Ochiai, S., Ueda, S., Hasegawa, H., Kakiuchi, H., Akata, N., Ohtsuka, Y., & Hisamatsu, S. (2016). Spatial and temporal changes of ^{137}Cs concentrations derived from nuclear power plant accident in river waters in eastern Fukushima, Japan during 2012–2014. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 307(3), 2167–2172. <https://doi.org/10.1007/s10967-0154442-5/figures/3>
- Pan, K., & Wang, W. X. (2016). Radiocesium uptake, trophic transfer, and exposure in three estuarine fish with contrasting feeding habits. *Chemosphere*, 163, 499–507. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.066>

- Pătraşcu, V., Mărgineanu, R. M., Blebea-Apostu, A. M., Diaconeasa, D. I., & Gomoiu, M. C. (2018). Gamma-ray radionuclides in sediments from mamaia beach on the romanian Black Sea Coast. *Coastal Research Library*, 23, 233–239. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57577-3_14
- Pearson, A. J., Gaw, S., Hermanspahn, N., & Glover, C. N. (2016). Activity concentrations of ¹³⁷Caesium and ²¹⁰Polonium in seafood from fishing regions of New Zealand and the dose assessment for seafood consumers. *Journal of Environmental Radioactivity*, 151, 542–550. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.07.026>
- Periáñez, R., & Cortés, C. (2023). A Study on the transport of ¹³⁷cs and ⁹⁰sr in marine biota in a hypothetical scenario of a nuclear accident in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(9), 1707. <https://doi.org/10.3390/jmse11091707>
- Pearson, A. J., Gaw, S., Hermanspahn, N., & Glover, C. N. (2016). Activity concentrations of ¹³⁷Caesium and ²¹⁰Polonium in seafood from fishing regions of New Zealand and the dose assessment for seafood consumers. *Journal of Environmental Radioactivity*. 151, 542–550. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.07.026>
- Pinder, J. E., Hinton, T. G., Taylor, B. E., & Whicker, F. W. (2011). Cesium accumulation by aquatic organisms at different trophic levels following an experimental release into a small reservoir. *Journal of Environmental Radioactivity*. 102(3), 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.12.003>
- Povinec, P. P., Aoyama, M., Biddulph, D., Breier, R., Buessler, K., Chang, C. C., Golser, R., Hou, X. L., Jeřkovský, M., Jull, A. J. T., Kaizer, J., Nakano, M., Nies, H., Palcsu, L., Papp, L., Pham, M. K., Steier, P., & Zhang, L. Y. (2013). Cesium, iodine and tritium in NW Pacific waters – a comparison of the Fukushima impact with global fallout. *Biogeosciences*, 10(8), 5481–5496. <https://doi.org/10.5194/bgd-10-6377-2013>
- Povinec, P., Sýkora, I., Macke, R., Tóth, J., & Kornoš, L. (2020). Radionuclides in chassigny and nakhlite meteorites of mars origin: implications for their pre-atmospheric sizes and cosmic-ray exposure ages. *Planetary and Space Science*, 186. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2020.104914>
- Prastowo, A. (2007). *Metode penelitian kualitatif dalam perspektif rancangan penelitian*. Yogyakarta Ar-Ruzz Media. 376 hlm.
- Pratama, M. A., Yoneda, M., Shimada, Y., Matsui, Y., & Yamashiki, Y. (2015). Future projection of radiocesium flux to the ocean from the largest river impacted by fukushima daiichi nuclear power plant. *Scientific reports*, 5(1), 8408.

- Prlić, I., Mostečak, A., Mihić, M. S., Veinović, Ž., & Pavelić, L. (2017). Radiological risk assessment: An overview of the ERICA integrated approach and the ERICA tool use. *Arhiv Za Higijenu Rada i Toksikologiju*, 68(4), 298–307
- Prihatiningsih, W. R., & Makmur, M. (2021). Radioactivity monitoring and radiological assessment of radionuclides at western coastal of South Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 860(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012012>
- Prihatiningsih, W. R., Suseno, H., Makmur, M., Muslim, M., & Yahya, M. N. (2020). Effect of regional oceanographic processes to the distribution of radionuclides in the coasts of Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 429(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/429/1/012014>
- Prihatiningsih, W. R., Suseno, H., Zamani, N. P., & Soedharma, D. (2016). Bioaccumulation and retention kinetics of cesium in the Milkfish Chanos chanos from Jakarta Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 110(2), 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.058>
- Priyadharsini, S., Manoharan, J., Varadharajan, D., & Vasagam, K. K (2014). Food and feeding habits of pterois russelli from Cuddalore, South East Coast of India. *Journal of Earth Science & Climatic Change*. 05(04). <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000191>
- Pratama, M. A., Yoneda, M., Shimada, Y., Matsui, Y., & Yamashiki, Y. (2015). Future projection of radioCaesium flux to the ocean from the largest river impacted by Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Scientific reports*. 5(1), 8408. <https://doi.org/10.1038/srep08408>
- Putri, M. K., Septinar, H., & Daulay, R. W. (2019). Analisis pengaruh pengelolaan lingkungan terhadap kondisi masyarakat hilir Sungai Musi. *Jurnal Geografi:Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 16(2), 80–89. <https://doi.org/10.15294/jg.v16i2.18955>
- Rafsani, F., Muslim, M., & Suseno, H. (2014). Arus Permukaan Yang Berpengaruh Terhadap Distribusi ¹³⁷cs (Cesium-137) Di Perairan Gresik. *Journal of Oceanography*, 3(4), 470-475. <https://www.neliti.com/id/publications/115945/>
- Risti, N. M., Dewiyanti, I., & Nurfadillah, N. (2019). Hubungan panjang-berat dan kebiasaan makan ikan tongkol abu-abu (*Thunnus tonggol*) di perairan Kabupaten Aceh Barat Daya. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan Perikanan*, 4, 170–176. <https://jim.usk.ac.id/fkp/article/view/13825>
- Romanda, R., Putra, D. F., Dewiyanti, I., Nurfadillah, N., Batubara, A. S., Mustaqim, M., & Muchlisin, Z. A. (2019). Feeding habits and length-weight relationship of giant marbled eel *Anguilla marmorata* in the Brayeun River,

- Aceh Besar District, Aceh Province, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 348(1).
<https://doi.org/10.1088/17551315/348/1/012035>
- Russell, B. C., Croudace, I. W., & Warwick, P. E. (2015). Determination of ^{135}Cs and ^{137}Cs in environmental samples: A review. *Analytica Chimica Acta*, 890, 7–20. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.06.037>
- Saito, K., Tanihata, I., Fujiwara, M., Saito, T., Shimoura, S., Otsuka, T., Onda, Y., Hoshi, M., Ikeuchi, Y., Takahashi, F., Kinouchi, N., Saegusa, J., Seki, A., Takemiya, H., & Shibata, T. (2015). Detailed deposition density maps constructed by large-scale soil sampling for gamma-ray emitting radioactive nuclides from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 139, 308–319.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.02.014>
- Sala, R., & Manuhutu, J. (2020). Variabilitas suhu permukaan laut dan implikasinya terhadap hasil tangkapan ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) di Perairan Manokwari, Papua Barat. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 4(2).
- Saleem, S., Mashiatullah, A., & Yaqoob, N. (2015). Radiological risk assessment radiological risk assessment in marine biota along Karachi Coast-Pakistan. *Iranica Journal OF Energy & Environment*, 6(3).
<https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2015.06.03.09>
- Sanada, Y., Urabe, Y., Sasaki, M., Ochi, K., & Torii, T. (2019). Evaluation of ecological half-life of dose rate based on airborne radiation monitoring following the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 210, 105816.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.07.016>
- Sanial, V., Buesseler, K. O., Charette, M. A., & Nagao, S. (2017). Unexpected source of Fukushima-derived radiocesium to the coastal ocean of Japan. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(42), 11092–11096. <https://doi.org/10.1073/pnas.1708659114>
- Saraswatia, P. N. A., Julyantoroa, P. G. S., Kartikaa, G. R. A., & Pratiwia, M. A. (2020). Jenis makanan dan area makan ikan tongkol abu-abu (*Thunnus tonggol*) yang didaratkan di ppi kedonganan pada musim barat. *Current Trends in Aquatic Science III*, 2, 24–29.
<https://jurnal.harianregional.com/ctas/id-55591>
- Sari, M., & Wiyono, E. S. (2021). Pengaruh cuaca terhadap pola musim penangkapan ikan pelagis di Perairan Teluk Lampung. *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*. 5(3), 277-289.
<https://doi.org/10.29244/core.5.3.277-289>

- Setiawati, E., Arif, I., & Intan T, P. (2004). Studi distribusi radionuklida ^{134}Cs pada sistem perairan tawar. *Berkala Fisika*, 7(2), 35-39.
- Shi, J., Wang, T., Li, C., Zhao, J., Kang, Z., Song, X., & Liu, Y. (2024). Food web structure and trophic diversity for the fishes of four islands in the pearl river estuary, China. *Ecological Indicators*, 160. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111916>
- Sholihuddin, I., Johan, D., Noor, A. E., Bunawas, D. H., & Fisika, A. J. (2013). Kalibrasi detektor nai(tl) untuk pemantauan kontaminasi bahan radioaktif di tanah secara in-situ. *Brawijaya Physics Student Journal*, 1(1), 157278. <https://www.neliti.com/publications/157278/>
- Silalahi, C., & Heny Suseno, dan. (2014). Aktivitas cesium-137 (^{137}Cs) di Perairan Bangka selatan sebagai base line data radionuklida di Perairan Indonesia. *Jurnal Oseanografi*, 3(1), 36–42. <http://ejournals1.undip.ac.id/index.php/jose>
- Silva, L. B., Lopes, J. M., Pereira, W. S., Garcêz, R. W. D., Silva, A. X., & Talhofer, J. L. (2021). Committed effective dose and lifetime cancer risk due to ingestion of natural radionuclides in grains grown in an area of high background radiation. *Applied Radiation and Isotopes*, 172, 109656. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2021.109656>
- Singh, J., Singh, H., Singh, S., Bajwa, B. S., & Sonkawade, R. G. (2009). Comparative study of natural radioactivity levels in soil samples from the Upper Siwaliks and Punjab, India using gamma-ray spectrometry. *Journal of Environmental Radioactivity*, 100(1), 94–98. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.09.011>
- Sohtome, T., Wada, T., Mizuno, T., Nemoto, Y., Igarashi, S., Nishimune, A., Aono, T., Ito, Y., Kanda, J., & Ishimaru, T. (2014). Radiological impact of TEPCO's Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident on invertebrates in the coastal benthic food web. *Journal of Environmental Radioactivity*, 138, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.08.008>
- Spinner, M., Kortmann, M., Traini, C., & Gorb, S. N. (2016). Key role of scale morphology in flatfishes (Pleuronectiformes) in the ability to keep sand. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep26308>
- Sriyono, S., Lubis, H., Sarmini, E., Herlina, H., & Saptiama, I. (2014). Pemisahan radioisotop ^{188}Re dari radioisotop ^{188}W melalui kolom generator $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ berbasis alumina. *Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka*, 16(1). <https://jurnal.batan.go.id/index.php/jrr/article/view/1368>
- Steinhauser, G., Brandl, A., & Johnson, T. E. (2014). Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of The Total Environment*, 470–471, 800–817. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.029>

- Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabet. Bandung. 334 hlm.
- Suseno, H., Budiawan, Muslim, Makmur, M., & Yahya, M. N. (2018). Present status of marine radioecology in Jakarta Bay. *Atom Indonesia*, 44(2), 63–67. <https://doi.org/10.17146/aij.2018.606>
- Suseno, H., & Prihatiningsih, W. R. (2014). Monitoring ^{137}Cs and ^{134}Cs at marine coasts in Indonesia between 2011 and 2013. *Marine Pollution Bulletin*, 88(1–2), 319–324. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.024>
- Suseno, H., Wahyono, L., & Muslim, M. (2012). Radiocesium monitoring in Indonesian waters of the Indian Ocean after the Fukushima nuclear accident. *Radiocesium Monitoring in Indonesian Waters of the Indian Ocean after the Fukushima Nuclear Accident*. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1–2), 539–543. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.015>
- Syajidah, H., Munir, A., Wira Hadinata, A. M. S., & Hadinata, F. W. (2024). Dinamika populasi ikan tongkol abu-abu (*Thunnus tonggol*) yang didaratkan di pelabuhan perikanan Nusantara Pemangkat. *Jurnal Sains Pertanian Equator*, 13(2), 402–412. <https://doi.org/10.26418/jspe.v13i2.74428>
- Tagami, K., & Uchida, S. (2016). Consideration on the long ecological half-life component of ^{137}Cs in demersal fish based on field observation results obtained after the Fukushima accident. *Environmental Science and Technology*, 50(4), 1804–1811. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04952/asset/images/large/es-201504952d_0005.jpeg
- Takata, H., Johansen, M. P., Kusakabe, M., Ikenoue, T., Yokota, M., & Takaku, H. (2019). A 30-year record reveals re-equilibration rates of ^{137}Cs in marine biota after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident: Concentration ratios in pre- and post-event conditions. *Science of The Total Environment*, 675, 694–704. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.015>
- Takata, H., Kusakabe, M., Inatomi, N., Ikenoue, T., & Hasegawa, K. (2016). The contribution of sources to the sustained elevated inventory of ^{137}Cs in offshore waters east of Japan after the Fukushima Dai-ichi nuclear power station accident. *Environmental Science and Technology*, 50(13), 6957–6963. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00613>
- Tangke, U. (2020). Produksi dan nilai jual ikan pelagis dominan di TPI higienis pelabuhan perikanan Nusantara Ternate. *Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan*, 13(1). <https://doi.org/10.29239/j.agrikan.13.1.97-107>
- Tateda, Y., Tsumune, D., & Tsubono, T. (2013). Simulation of radioactive cesium transfer in the southern Fukushima coastal biota using a dynamic food chain transfer model. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.03.007>

- Tateda, Y., Tsumune, D., Tsubono, T., Misumi, K., Yamada, M., Kanda, J., & Ishimaru, T. (2016). Status of ¹³⁷Cs contamination in marine biota along the pacific coast of eastern Japan derived from a dynamic biological model two years simulation following the Fukushima accident. *Journal of Environmental Radioactivity*, 151, 495–501.
<https://doi.org/10.1016/J.jenvrad.2015.05.013>
- Tazoe, H., Yamagata, T., Tsujita, K., Nagai, H., Obata, H., Tsumune, D., Kanda, J., & Yamada, M. (2019). Observation of dispersion in the japanese coastal area of released ⁹⁰Sr, ¹³⁴Cs, and ¹³⁷Cs from the Fukushima Daiichi nuclear power plant to the sea in 2013. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(21).
<https://doi.org/10.3390/ijerph16214094>
- Teien, H. C., Kashparova, O., Salbu, B., Levchuk, S., Protsak, V., Eide, D. M., Jensen, K. A., & Kashparov, V. (2021). Seasonal changes in uptake and depuration of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in silver Prussian carp (*Carassius gibelio*) and common rudd (*Scardinius erythrophthalmus*). *Science of The Total Environment*, 786, 147280. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147280>
- Tirta, R. B., & Lissimia, F. 2020. Kajian penerapan arsitektur perilaku pada bangunan pasar ikan di Muara Baru. *Jurnal Arsitektur*. 4(2): 55-62.
<https://doi.org/10.24853/purwarupa.4.2.55-62>
- Telfeyan, K., Reimus, P. W., Boukhalfa, H., & Ware, S. D. 2020. Aging effects on Caesium-137 (¹³⁷Cs) sorption and transport in association with clay colloids. *Journal of Colloid and Interface Science*. 566: 316–326.
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.01.033>
- Thakur, P., & Mulholland, G. P. (2012). Determination of ²³⁷Np in environmental and nuclear samples: A review of the analytical method. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(8), 1747–1778.
<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2012.02.115>
- Unnoa, Y., Sanamib, T., Hagiwarab, M., Sasakib, S., & Yunokia, A. (2014). Application of beta coincidence to nuclide identification of radioactive samples contaminated by the accident at the Fukushima Nuclear Power Plant. *Progress in Nuclear Science and Technology*, 4, 90-93.
<https://doi.org/10.15669/PNST.4.90>
- USDOE. (2019). *A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota*. Area Envir. 169 hlm.
- Van Der Laan, R., Eschmeyer, W. N., & Fricke, R. (2014). Family-group names of recent fishes. *Zootaxa*, 3882(1), 1–230.
<https://doi.org/10.11646/zootaxa.3882.1.1>
- Vives I Batlle, J., Aoyama, M., Bradshaw, C., Brown, J., Buesseler, K. O., Casacuberta, N., Christl, M., Duffa, C., Impens, N. R. E. N., Iosjpe, M.,

- Masqué, P., & Nishikawa, J. (2017). Marine radioecology after the Fukushima Dai-ichi nuclear accident: Are we better positioned to understand the impact of radionuclides in marine ecosystems? *Science of The Total Enviroment*, 618, 80-92. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.005>
- Volkova, Y., Belyayev, V., Gudkov, D. I., Prishlyak, S. P., & Parkhomenko, A. A. (2019). ¹³⁷Cs in Higher Aquatic Plants and Fish of Water Bodies of Ukraine. *Hydrobiological Journal*, 55(3). <https://doi.org/10.1615/hydrobj.v55.i3.100>
- Wada, T., Konoplev, A., Wakiyama, Y., Watanabe, K., Furuta, Y., Morishita, D., Kawata, G., & Nanba, K. (2019). Strong contrast of cesium radioactivity between marine and freshwater fish in Fukushima. *Journal of Environmental Radioactivity*, 204, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.04.006>
- Wada, T., Nemoto, Y., Shimamura, S., Fujita, T., Mizuno, T., Sohtome, T., Kamiyama, K., Morita, T., & Igarashi, S. (2013). Effects of the nuclear disaster on marine products in Fukushima. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.05.008>
- Wada, T., Tomiya, A., Enomoto, M., Sato, T., Morishita, D., Izumi, S., Niizeki, K., Suzuki, S., Morita, T., & Kawata, G. (2016). Radiological impact of the nuclear power plant accident on freshwater fish in Fukushima: An overview of monitoring results. *Journal of Environmental Radioactivity*, 151, 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2015.09.017>
- Wagiyo, K., & Febrianti, E. (2015). Aspek biologi dan parameter populasi ikan tongkol abu-abu (*Thunnus tonggol*) di Perairan Langsa dan sekitarnya. *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap*, 7(2), 59–66. <http://dx.doi.org/10.15578/bawal.7.2.2015.59-66>
- Wang, C., Baumann, Z., Madigan, D. J., & Fisher, N. S. (2016). Contaminated marine sediments as a source of cesium radioisotopes for benthic fauna near Fukushima. *Environmental Science and Technology*, 50(19), 10448–10455. https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02984/asset/images/large/es-201602984y_0006.jpeg
- Wang, C., Cerrato, R. M., & Fisher, N. S. (2018). Temporal changes in ¹³⁷Cs concentrations in fish, sediments, and seawater off Fukushima Japan. *Environmental Science and Technology*, 52(22), 13119–13126. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b03294/asset/images/large/es-201803294g_0003.jpeg
- Wang, J., & Zhuang, S. (2020). Cesium separation from radioactive waste by extraction and adsorption based on crown ethers and calixarenes. *Nuclear Engineering and Technology*, 52(2), 328–336. <https://doi.org/10.1016/j.net.2019.08.001>

- Wang, J., Zhuang, S., & Liu, Y. (2018). Metal hexacyanoferrates-based adsorbents for cesium removal. *Coordination Chemistry Reviews*, 374, 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2018.07.014>
- Woods, M. J., & Collins, S. M. (2004). Half-life data—a critical review of TECDOC-619 update. *Applied radiation and isotopes*, 60(2-4), 257-262. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2003.11.026>
- Xue, X., Jia, H., & Xue, J. (2019). Bioaccumulation of methyl siloxanes in common carp (*cyprinus carpio*) and in an estuarine food web in Northeastern China. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 76(3), 496–507. <https://doi.org/10.1007/S00244-018-0569Z/FIGURES/6>
- Xue, Y., Tanaka, K., Yu, H., Chen, Y., Guan, L., Li, Z., ... & Wan, R. (2018). Using a new framework of two-phase generalized additive models to incorporate prey abundance in spatial distribution models of juvenile slender lizardfish in Haizhou Bay, China. *Marine Biology Research*, 14(5), 508-523. <https://doi.org/10.1080/17451000.2018.1447673>
- Yarima, M., Khandaker, M., & ... A. N. (2019). Assessment of natural radioactivity in maize and estimation of concomitant dose to Nigerian via ingestion pathway. *Radiation Protection Dosimetry*, 184(3-4), 359-362. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz115>
- Zalewska, T., & Suplińska, M. (2013). Anthropogenic radionuclides ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in the southern Baltic Sea ecosystem. *Oceanologia*, 55(3), 485–517. <https://doi.org/10.5697/OC.55-3.485>
- Zhipeng, Y., Jinlong, W., Qianqian, B., Dekun, H., Tao, Y., & Jinzhou, D. (2023). Distribution of ¹³⁷Cs in biotas from the zhoushan fishing ground and evaluation of radiological dose rates after the Fukushima Accident from 2011 to 2012. *Ecology and Environment*, 32(4), 715. <https://doi.org/10.16258/j.cnki.1674-5906.2023.04.009>
- Zinger, I., Copplestone, D., & Howard, B. J. (2008). Decision-making in environmental radiation protection: using the Erica integrated approach. *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(9), 1510–1518. <https://doi.org/10.1016/J.JENVRAD.2008.01.021>
- Zulaihah, L., Nur, I., & Amir, M. (2018). Program pendinginan ikan pada kelompok pedagang pasar pelelangan muara baru Jakarta Utara. In *Proceedings Of National Colloquium Research And Community Service*, (2). <https://doi.org/10.33019/snppm.v2i0.634>