



Kajian Kualitas Air Laut dan Dosis Cesium 137 Pada Biota di Pantai Gosong, Kalimantan Barat Sebagai Calon Tapak PLTN

Dian Mukanthi¹⁾, Afghani Jayuska²⁾, Murdahayu Makmur³⁾, Nora Idiawati^{*1)},

¹⁾Program Studi Ilmu Kelautan, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

²⁾Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia

³⁾Radioekologi Kelautan, PTKMR – Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima:

24 November 2021

Diterima dalam bentuk revisi:

25 Desember 2021

Disetujui:

30 Desember 2021

Kata kunci:

Pantai Gosong,
Kualitas air
Nuklida Cs-137
Erica Tools
Dosis radiasi

ABSTRAK

KAJIAN KUALITAS AIR LAUT DAN DOSIS CESIUM 137 PADA BIOTA DI PANTAI GOSONG, KALIMANTAN BARAT SEBAGAI CALON TAPAK PLTN. Kondisi awal lingkungan di Pantai Gosong sebagai calon tapak PLTN di Kalimantan Barat sebelum pembangunan dan pengoperasian PLTN penting untuk dilakukan. Salah satu deskripsi lingkungan yang diperlukan namun belum tersedia adalah data radionuklida Cs-137 dan besarnya dosis radiasi Cs-137 terhadap biota laut di perairan laut Pantai Gosong. Penelitian ini bertujuan menentukan kualitas air termasuk konsentrasi radionuklida Cs-137 di perairan Pantai Gosong dan dosis radiasi Cs-137 terhadap biota lautnya. Penentuan lokasi penelitian didasarkan dengan metode purposive sampling. Metode penelitian meliputi pengendapan Cs-137, pemisahan, pengeringan dan pencacahan dengan spectrometer gamma. Selanjutnya dilakukan simulasi dosis radiasi terhadap biota laut menggunakan perangkat lunak *Erica Tools*. Parameter kualitas air lainnya diukur menggunakan *Water Quality Mater*. Hasil pengukuran empat parameter yang diukur seperti pH, suhu, salinitas dan TDS mempunyai nilai yang serupa dengan penelitian lain pada lokasi yang berdekatan dan tidak terjadi perubahan kualitas lingkungan. Dari aspek radioekologi yang diwakili oleh nuklida Cs-137, didapatkan bahwa aktivitasnya di perairan Pantai Gosong hampir sama nilainya dengan penelitian serupa di perairan Indonesia yang sumbernya berasal dari *fallout*. Dosis radiasi Cs-137 pada biota laut yang berada di perairan Pantai Gosong lebih rendah dari tingkat dosis skrining *level*.

ABSTRACT

ACTIVITY CONCENTRATION OF Cs-137 AND DOSE ASSESMENT ON BIOTA IN GOSONG BEACH, BENGKAYANG WEST KALIMANTAN. The initial environmental conditions at Gosong Beach as a potential nuclear power plant site in West Kalimantan before the construction and operation of the nuclear power plant are important. One of the environmental descriptions that are needed but not yet available is radionuclide data of Cs-137 and the amount of radiation dose of Cs-137 on marine biota in the sea waters of Gosong Beach. This study aims to determine the water quality, including the concentration of radionuclide Cs-137 in the waters of Gosong Beach and the radiation dose of Cs-137 to marine biota. The determination of research location is based on the purposive sampling method. The research method includes precipitation of Cs-137, separation, drying, and counting using a gamma spectrometer. Furthermore, radiation dose simulation on marine biota was carried out using the *Erica Tools* software. Other water quality parameters were measured using the *Water Quality Mater*. The results of the four parameters measured, such as pH, temperature, salinity, and TDS have values similar to other studies in adjacent locations, and there is no change in environmental quality. From the radioecological aspect represented by the Cs-137 nuclide, it was found that its activity in Gosong Beach waters is almost the same value as similar studies in Indonesian waters whose source comes from the fallout. The radiation dose of Cs-137 in marine biota in the waters of Gosong Beach is lower than the screening dose level.

Keywords: Gosong Beach, Water Quality, Nuclide Cs-137, *Erica Tools*, Radiation Dose.

© 2021 Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pantai Gosong adalah salah satu calon tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia, yang berada di Kecamatan

Sungai Raya Kepulauan Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat.

PLTN merupakan salah satu teknologi pembangkit listrik yang memanfaatkan zat radioaktif sebagai sumber energinya. dalam operasi normal, PLTN mengeluarkan zat radioaktif berupa sinar alfa, beta dan gamma walaupun dalam skala kecil dan dalam batas yang diijinkan [1]. Dalam kondisi kecelakaan

*Penulis korespondensi.

E-mail: nora.idiawati@fmipa.untan.ac.id

misalnya kecelakaan Fukushima Dai-ichi akibat tsunami tahun 2011, dihasilkan zat radioaktif seperti Cs-137, Cs-134, Sr-90 dan radionuklida antropogenik lainnya yang dapat memberikan dampak buruk bagi kesehatan makhluk hidup [2]. Zat radioaktif ^{137}Cs dilepaskan ke perairan dalam jumlah yang lebih masif dibandingkan zat radioaktif lainnya. Total ^{137}Cs yang dilepaskan mencapai 4-90 PBq dengan perkiraan pelepasan kolektif paling banyak berkisar 15-30 PBq [3].

Indonesia terletak di antara Samudra Pasifik dan Samudra Hindia di mana massa air Samudra Pasifik mengalir ke Samudra Hindia melalui perairan laut Indonesia yang membawa kontaminan radioaktif yang berasal dari kecelakaan nuklir [3]. Mengingat penyebaran tersebut juga dipengaruhi oleh arus laut dunia, maka semakin luas pula penyebarannya [4]. Penyebaran radionuklida ini pada akhirnya akan terakumulasi dan akan terjadi biomagnifikasi pada tingkat trofik yang lebih tinggi [5] dan pada akhirnya dapat mempengaruhi kesehatan manusia melalui konsumsi hewan laut yang berasal dari perairan terakumulasi radioaktif tersebut.

Di antara radionuklida antropogenik yang dilepaskan ke lingkungan laut, Cs-137 merupakan indikator pencemaran lingkungan laut karena sifatnya yang konservatif dengan jangka waktu yang relatif lama dengan waktu paruh 30 tahun [3]. Oleh karena itu, diperlukan analisis aktivitas dan distribusi Cs-137 di perairan Pantai Gosong.

Konsentrasi aktivitas Cs-137 di Pantai Gosong dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi radioekologis dari perairan di Pantai Gosong sebelum dibangunnya PLTN Kalimantan Barat. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kualitas air melalui 4 parameter pH, salinitas, suhu dan Total Dissolved Suspended (TDS), menentukan konsentrasi radionuklida Cs-137 di perairan Pantai Gosong dan dosis radiasi Cs-137 terhadap biota lautnya. Kajian ini selanjutnya akan menjadi data pembandingan sebelum dan sesudah PLTN dibangun di Pantai Gosong. Dengan adanya kajian ini, diharapkan dapat menjadi kontrol lingkungan baik pada lingkungan biotik maupun lingkungan abiotiknya. Diharapkan penelitian menjadi data pembandingan sebelum dan sesudah PLTN dibangun.

2. TEORI DASAR

2.1 PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir)

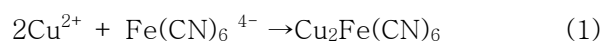
PLTN adalah pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar nuklir sebagai bahan bakarnya. PLTN terdiri dari dua bangunan utama, yaitu bagian reaktor nuklir dan bagian yang berhubungan dengan kelistrikan. Bagian reaktor nuklir adalah bagian yang berfungsi mengubah energi bahan bakar nuklir menjadi energi panas untuk menguapkan air. Bagian ini merupakan sumber radiasi zat radioaktif dan berpotensi terlepas ke lingkungan sekitarnya [6]. Bagian lainnya berfungsi untuk mengubah energi uap menjadi energi listrik, bagian ini hampir sama dengan bangunan pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar lain [6].

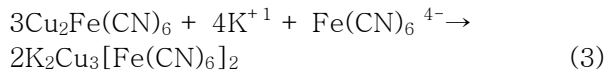
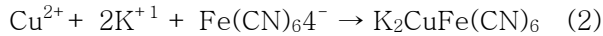
PLTN merupakan salah satu alternatif dalam penyediaan listrik. Pembangunan PLTN mampu mempercepat perkembangan industri nasional karena berbagai macam industri dapat terlibat dalam pembangunan PLTN. Reaktor Air Bertekanan (PWR), Reaktor Air Mendidih (BWR), Reaktor Air Berat Bertekanan (PHWR) adalah jenis PLTN komersial. Setiap jenis PLTN mempunyai ciri khas, kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Adanya PLTN di Indonesia diharapkan mampu bersinergi dan bersimbiosis dengan energi fosil dan non-fosil untuk memenuhi kebutuhan energi nasional [6].

2.2 Radionuklida Cesium-137

Cs-137 merupakan produk fisi dengan waktu paruh yang cukup panjang, yakni 30,17 tahun. Cs-137 umumnya bisa lepas ke lingkungan karena berasal dari tes bom nuklir, kecelakaan nuklir, dan dari pembuangan limbah nuklir. Sebagai salah satu unsur yang termasuk dalam golongan alkali, Cesium biasanya berada dan bermigrasi dalam bentuk mono valensi dalam lingkungan perairan [7].

Reaksi kimia yang terjadi antara kedua senyawa yang digunakan dalam pembuatan matrik penukaran ion untuk penyerapan Cs-137 seperti persamaan reaksi dibawah ini, dimana ada tiga bentuk penukar ion heksasianoferat dengan $\text{K}_2\text{CuFe}(\text{CN})_6$ sebagai bentuk utamanya [7].





Cs-137 adalah radioaktif yang dihasilkan ketika uranium atau plutonium menyerap neutron dan mengalami proses fisi (pembelahan) Nuklida Cs-137 mempunyai waktu paruh 30 tahun, termasuk radionuklida yang bersifat mudah larut sehingga mudah diserap oleh jaringan tubuh [8].

3. METODOLOGI

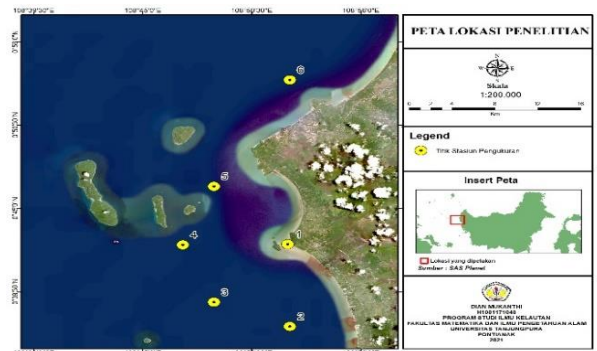
Pengambilan sampel air laut dilakukan di Perairan Pantai Gosong, Kabupaten Bengkayang, Provinsi Kalimantan Barat pada bulan Maret 2021 sampai dengan bulan Mei 2021 dengan lokasi pengambilan sampel terlihat pada Gambar 1. Penentuan lokasi pengambilan sampel berdasarkan metode *purposive sampling* yakni dengan menentukan lokasi tertentu yang untuk mewakili perairan Pantai Gosong. Pengukuran parameter kualitas air dilakukan dengan menggunakan alat *Water Quality Checker* (WQC). Beberapa parameter kualitas perairan yang diamati suhu, salinitas, pH, dan TDS yang kemudian dicari korelasinya dengan aktivitas Cs-137 pada air laut.

Sampel air laut diambil sebanyak 60 L dilakukan pada enam stasiun pengambilan. Sampel air ditambahkan $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ dan CuSO_4 yang berfungsi sebagai pengikat Cs-137 karena senyawa tersebut memiliki kemampuan mengikat 6 ligan yang dapat membentuk ion kompleks. Kemudian sampel diaduk selama 30 menit agar homogen dan didiamkan selama 1 jam sampai terjadi endapan. Endapan yang terbentuk kemudian dipisahkan dari filtratnya menggunakan kertas saring. Kertas saring yang berisi endapan tersebut kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 70 - 80°C.

Pencacahan sampel dilakukan dengan menggunakan *Gamma Spectrometer* yang telah terhubung perangkat lunak Genie dari Canberra dan diukur selama 3 hari. Detektor yang digunakan adalah detektor HPGe (*High Purity Germanium*) dan aktivitas Cs-137 ditentukan melalui puncak sinar gamma pada energi 661,7 keV [9].

Analisis *Erica Tool* digunakan untuk menghitung dosis radiasi dari nuklida Cs-137

terhadap biota laut. Simulasi *Erica Tool* menggunakan menu Tier 2, dimana pengguna dapat merubah sebagian data input dengan menggunakan data hasil penelitian dan tidak lagi menggunakan semua data yang disediakan oleh *Erica Tool*. Hasil total dosis yang dihasilkan digunakan untuk menentukan efek biologis berdasarkan FREDERICA database sediaan Tier 2 dengan *screening level* sebesar 10 µGy/h. Nilai *screening level* ini menentukan apakah penilaian dosis terhadap biota masuk kategori aman atau tidak aman.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kualitas Perairan Pantai Gosong

Hasil pengukuran dari beberapa parameter kualitas perairan yang didapatkan dari 6 titik stasiun yakni, suhu berkisar antara 28,37°C sampai dengan 31,93°C dengan rata-rata 30,37°C. pH yang didapatkan berkisar 6,76 sampai dengan 9,08 dengan rata-rata 8,37. Salinitas berkisar antara 0,04‰ sampai dengan 32,04‰ dengan rata-rata 23,1‰. Kemudian TDS berkisar antara 0,025 mg/L sampai dengan 30 Mg/L dengan rata-rata 21,7 mg/L. Hasil pengukuran parameter kualitas air dilakukan di perairan Pantai Gosong ditunjukkan pada Tabel 1.

4.2 Aktivitas Cs-137 di perairan Pantai Gosong

Pada penelitian ini, radionuklida antropogenik yang dianalisis adalah Cs-137 sebagai data awal sebelum dibangunnya PLTN di Perairan Pantai Gosong. Data konsentrasi aktivitas Cs-137 yang terukur akan digunakan sebagai pembandingan pada saat pengoperasian

Tabel 1. Kualitas Perairan Pantai Gosong

Stasiun	Suhu (°C)	pH	Salinitas (‰)	TDS (Mg/L)
Sta. 1	30,15	8,4	22,9	21,7
Sta. 2	30,7	8,74	32,04	30
Sta. 3	29,97	8,92	31,96	29,8
Sta. 4	31,1	8,33	21,55	20,2
Sta. 5	28,37	6,76	0,04	0,025
Sta. 6	31,93	9,08	30,34	28,50

Tabel 2. Konsentrasi Cs-137 di Perairan Pantai Gosong

Stasiun	Bujur Timur	Lintang Utara	Cs-137 (Bq.m ⁻³)
Sta. 1	108,8718179	0,710396223	1,5
Sta. 2	108,8736088	0,619988539	0,91
Sta. 3	108,8097478	0,64672586	0,1
Sta. 4	108,783699	0,709758423	0,07
Sta. 5	108,8097856	0,774118697	0,12
Sta. 6	108,8735351	0,891269828	0,28
Rata-rata			0,5
Maksimum			1,5
Minimum			0,07

PLTN maupun kalau terjadi kecelakaan nuklir. Tabel 2 menunjukkan konsentrasi aktivitas Cs-137 di 6 titik stasiun perairan Pantai Gosong.

Dapat dilihat pada Tabel 2 bahwa konsentrasi aktivitas maksimum dan minimum Cs-137 dari enam stasiun pengamatan adalah sebesar 1,5 Bq.m⁻³ pada sta. 1 dan 0,07 Bq.m⁻³ pada sta. 4 dengan rata-rata 0,5 Bq/m⁻³. Konsentrasi aktivitas Cs-137 di Perairan Pantai Gosong menunjukkan nilai yang tidak bervariasi dan cenderung konstan.

4.3 Laju dosis nuklida Cs-137 terhadap biota laut

Radionuklida Cs-137 adalah produk fisi dan menjadi perhatian khusus di lingkungan karena mobilitasnya yang tinggi ke perairan dan terakumulasi oleh organisme laut [9]. Cs-137 memiliki potensi akumulasi dalam biota dan akan berbahaya jika dikonsumsi oleh manusia [11].

Untuk mengetahui apakah radionuklida Cs-137 yang berada pada air laut di perairan Pantai Gosong akan memberi dampak radiologi pada biota, maka dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak Erica Tools dengan memasukkan konsentrasi aktivitas Cs-137 yang diukur.

Tabel 3 menunjukkan hasil analisis dari Erica Tool berupa internal laju dosis, laju dosis eksternal, dan dosis total tingkat di beberapa jenis organisme air laut. Berdasarkan International Atomic Energy Agency (IAEA) (1992) dan UNSCEAR (1996) menyatakan bahwa skrining dosis menggunakan Tier 2 yang aman untuk biota secara signifikan dengan batas dosis 10 Gy.h⁻¹ [12].

Hasil analisis terhadap 9 jenis biota laut, didapatkan laju dosis eksternal tertinggi pada Phytoplankton yaitu sebesar 6,04x10⁻⁴ µGy/h, dan yang terendah pada Polychaele worm yaitu sebesar 4,29x10⁻⁵ µGy/h. Kemudian laju dosis internal tertinggi pada Polychaele worm yaitu

Tabel 3. Hasil dosis Cs-137 pada biota

No	Biota	External Dose Rate ¹³⁷ C [µGy h ⁻¹]	Internal Dose Rate ¹³⁷ Cs [µGy h ⁻¹]	Total Dose Rate ¹³⁷ Cs [µGy h ⁻¹]
1	Crustacean	2,36x10 ⁻⁴	1,43x10 ⁻²	1,45x10 ⁻²
2	Macroalgae	2,10x10 ⁻⁴	2,02x10 ⁻²	2,04x10 ⁻²
3	Mollusc-bivalve	2,61x10 ⁻⁴	1,12x10 ⁻²	1,15x10 ⁻²
4	Pelagic Fish	4,35x10 ⁻⁴	2,27x10 ⁻²	2,31x10 ⁻²
5	Phytoplankton	6,04x10 ⁻⁴	8,54x10 ⁻⁴	1,46x10 ⁻³
6	Zooplankton	5,25x10 ⁻⁴	2,34x10 ⁻²	2,39x10 ⁻²
7	Polychaele Worm	4,29x10 ⁻⁵	3,78x10 ⁻²	3,78x10 ⁻²
8	Benthic Fish	2,44x10 ⁻⁴	2,14x10 ⁻²	2,17x10 ⁻²

sebesar $3,78 \times 10^{-2}$, dan yang terendah pada Phytoplankton yaitu sebesar $8,54 \times 10^{-4}$ $\mu\text{Gy/h}$. Dan total tingkat dosis tertinggi pada Polychaete worm yaitu sebesar $3,78 \times 10^{-2}$ $\mu\text{Gy/h}$, dan yang terendah pada Phytoplankton yaitu sebesar $1,46 \times 10^{-3}$ $\mu\text{Gy/h}$. Semua dosis yang diterima biota lebih kecil dibandingkan dengan skrining level pada Tier 2.

4.4 Kualitas Perairan Pantai Gosong

Pantai Gosong berada di Kecamatan Sungai Raya Bengkayang memiliki pesisir pantai dan sungai yang bermuara ke laut. Pesatnya pembangunan di wilayah pesisir mempengaruhi kualitas perairan [13]. Beberapa tahun terakhir di kawasan pantai Samudra Indah Kabupaten Bengkayang ini telah di bangun 3 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan beberapa penginapan untuk mendukung pariwisata. Peningkatan aktivitas industri ini juga berpotensi meningkatkan jumlah cemaran, baik cemaran fisika, kimia, biologi dan bahkan juga cemaran radioaktif alam.

Kualitas suatu perairan merupakan salah satu aspek penting bagi seluruh kehidupan makhluk hidup yang ada di dalamnya. Bahan pencemar yang masuk ke wilayah pesisir dan laut bisa berasal dari berbagai sumber. Keadaan fisik bahan pencemar dari suatu sumber bisa berbeda dari sumber yang lain, dengan komposisi yang berbeda-beda pula. Dengan demikian dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan juga bervariasi di wilayah pesisir dan ekosistem di sekitarnya. Sehingga, masuknya bahan pencemar ke badan air secara berlebihan, berdampak buruk pada perairan laut dan menyebabkan penurunan kualitas air laut [1].

Berdasarkan Tabel 1, suhu tertinggi diperoleh pada Sta. 6 yaitu mencapai $31,93^{\circ}\text{C}$ dan suhu terendah diperoleh pada sta. 5 yaitu mencapai $28,37^{\circ}\text{C}$. Adanya variasi suhu yang diperoleh pada hasil pengukuran disebabkan oleh adanya perbedaan waktu dalam pengambilan sampel airnya. Sta. 6 sendiri merupakan stasiun yang terletak pada laut terbuka, tidak berada didekat pesisir pantai dan juga pemukiman maupun industri. Tingginya suhu pada sta. 6 disebabkan karena adanya penyinaran yang optimal dari matahari, karena

pada saat sampel air diambil, pengambilannya dilakukan pada siang hari.

Suhu permukaan laut yang diperoleh di perairan Pantai Gosong tidak berbeda jauh dengan perairan lain yang ada di Kabupaten Bengkayang. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh [2], suhu air di perairan Pulau Kabung, yang berdekatan dengan Pantai Gosong adalah berkisar 30°C pada pagi hari dan 29°C pada siang hari. Sedangkan penelitian lain yang memetakan suhu perairan di sekitar Pulau diperoleh nilai relatif sama pada semua stasiun sampling dengan nilai pengukuran berkisar antara $29 - 29,2^{\circ}\text{C}$ [3].

Parameter salinitas perairan di perairan laut Pantai Gosong cenderung mengalami penurunan pada stasiun yang memiliki kedalaman yang dangkal. Nilai salinitas tertinggi berada pada Sta. 2 yaitu $32,04\%$ dan salinitas terendah terdapat di Sta. 5 yaitu $0,04\%$. Menurut [4] variasi nilai salinitas terjadi umumnya dikarenakan adanya pencampuran dua massa air yang berbeda. Pencampuran kedua massa air tersebut kemudian akan menurunkan nilai salinitas pada suatu perairan.

Salinitas yang diperoleh di perairan Pantai Gosong tidak berbeda jauh dengan perairan lain yang ada di Kabupaten Bengkayang. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh [13], salinitas air laut di perairan pantai Samudra Indah adalah berkisar $31-32\%$, sedangkan Salinitas di perairan laut Pulau Randayan lebih heterogen yaitu berkisar antara $31 - 34\%$ [3].

Penelitian lain melaporkan bahwa pada perairan di sisi sebelah timur Pulau Kabung hingga ke perairan bagian utara Pulau Lemukutan mempunyai salinitas tinggi yaitu $30,75 \%$ sampai dengan $31,50 \%$, dan perairan bersalinitas rendah ($29,5$ s.d $30,25$ psu – *practical salinity units*) dijumpai pada sisi barat dan timur Pulau Lemukutan, sebelah utara Pulau Penata Besar dan Pulau Penata Kecil serta bagian timur Pulau Penata Kecil [5].

Semakin jauh dari daratan utama, biasanya salinitas semakin tinggi, karena berhubungan dengan lebih sedikitnya air tawar dari daratan. Air tawar yang masuk dari sungai kemudian bercampur dengan air laut dan membentuk massa air baru dengan salinitas dan temperatur yang berbeda. Tidak homogenya salinitas air laut pada suatu kawasan perairan

juga disebabkan karena pola arus yang membawa masa air tawar yang belum tercampur sempurna. Pergerakan massa air baru yang bergerak tersebut selanjutnya akan tertahan oleh massa air laut bersalinitas lebih tinggi berdasarkan dinamika perairan [5].

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, nilai pH cenderung bervariasi pada setiap titik pengambilan sampel. Nilai pH pada lokasi penelitian bersifat basa karena memiliki nilai pH > 7. Namun, terdapat 1 stasiun yang memiliki nilai pH asam yaitu <7. Nilai pH tertinggi diperoleh pada Sta. 6 yaitu sebesar 9,08 dan nilai pH terendah diperoleh pada Sta. 5 yaitu sebesar 6,76. Tinggi atau rendahnya nilai pH pada suatu perairan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, kondisi gas yang terdapat didalam air seperti CO₂, konsentrasi garam-garam karbonat dan bikarbonat, serta proses dekomposisi bahan organik yang terjadi di dasar perairan. Umumnya, pH akan semakin meningkat ke arah laut lepas. Tinggi rendahnya nilai pH juga dapat dipengaruhi oleh jumlah bahan organik dari darat yang dibawa melalui aliran sungai [9].

pH permukaan laut yang diperoleh di perairan Pantai Gosong tidak berbeda jauh dengan perairan lain yang ada di Kabupaten Bengkayang. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh [2], pH air di perairan Pulau Kabung adalah berkisar antara 8,0 – 8,4.

Berdasarkan hasil pengukuran Total Dissolved Suspended (TDS) pada lokasi penelitian diperoleh nilai TDS yang bervariasi dari berbagai stasiun tergolong. Nilai TDS tertinggi berada pada stasiun 2 yaitu sebesar 30 mg/L nilai TDS terendah terdapat pada Sta. 5 yaitu sebesar 0,052 mg/L. Tingginya nilai TDS pada stasiun 2 disebabkan oleh banyaknya zat terlarut baik organik maupun anorganik yang bersumber dari aliran sungai yang masuk ke perairan laut dari sekitar estuari di dekat stasiun pengambilan sampel.

Sumber utama untuk TDS di perairan Pantai Gosong banyak disebabkan karena pembukaan lahan dan penambangan liar yang berada di hulu Sungai Raya yang bermuara ke Pantai Gosong. Perubahan dalam konsentrasi TDS dapat berbahaya karena akan menyebabkan terjadinya perubahan salinitas, perubahan komposisi ion-ion, dan toksisitas pada masing-masing ion. Tingginya kadar TDS biasanya disebabkan oleh banyaknya

kandungan senyawa-senyawa organik dan anorganik yang larut dalam air, serta mineral dan juga garam. Nilai TDS perairan sangat dipengaruhi oleh pelapukan batuan, limpasan dari tanah dan pengaruh antropogenik (berupa limbah domestik dan industri) [10].

4.5 Aktivitas Cs-137 di perairan Pantai Gosong

Kecelakaan Chernobyl dan Fukushima dan uji coba nuklir di atmosfer yang banyak dilakukan setelah Perang Dunia II merupakan penyumbang radionuklida masuk ke dalam perairan. Jatuhnya radionuklida tertinggi terjadi pada garis lintang tengah Samudra Pasifik Utara bagian barat dan Samudra Atlantik Utara bagian Barat. Perputaran air laut global yang lintas samudera berperan penting dalam pergerakan massa, panas dan zat-zat lain termasuk hal-hal antropogenik [11].

Pengaruh kedudukan geografis perairan Pantai Gosong dan interaksi dengan perairan sekitarnya memegang peranan penyebaran radioaktif dari arus global. Dinamika pantai Bengkayang menunjukkan besarnya pengaruh gelombang dari Selat Karimata dan Laut Cina Selatan pada Bulan Januari sampai dengan Bulan Maret dan pada Bulan November sampai dengan Desember, arus berbalik arah ke utara menuju Laut Cina Selatan. Pada musim peralihan 1 yaitu pada Bulan Mei, di bagian utara pantai Kalimantan Barat juga dijumpai arus yang berasal dari daerah lepas pantai menuju ke pantai dengan arus yang cukup kuat [12] dan potensi penyebaran radioaktif dari arus global juga akan mempengaruhi perairan laut Bengkayang dimana rencana PLTN akan dibangun.

Konsentrasi aktivitas Cs-137 dengan rata-rata sebesar 0.5 Bq.m⁻³ menunjukkan bahwa nilai tersebut hampir sama dengan konsentrasi aktivitas Cs-137 dari berbagai perairan di laut Indonesia. Pada penelitian yang dilakukan pada tahun 2020 [11] di pesisir barat Pulau Sumatera menyebutkan konsentrasi Cs-137 di air laut permukaan sebesar 0,042 Bq.m⁻³ sampai dengan 0,205 Bq.m⁻³ dengan rata-rata sebesar 0,123 Bq.m⁻³, penelitian yang dilakukan [5] di Teluk Jakarta pada tahun 2018 menyebutkan nilai konsentrasi Cs-137 sebesar 0,17–1,17 Bq.m⁻³, kemudian penelitian di Pulau Belitung menyebutkan nilai konsentrasi Cs-137 sebesar 0,021–0,054 Bq.m⁻³.

Tabel 4. Perbandingan konsentrasi Cs-137 di Indonesia dan Laut yang berdekatan

No	Lokasi	Konsentrasi Cs-137 (Bq.m ⁻³)	Literatur
1	Pantai Gosong, Indonesia	0,07-1,5	Hasil Penelitian ini
2	Perairan laut Sulawesi Selatan	0,34	[22]
3	Perairan laut Sulawesi Utara	0,98 to 1,33	[9]
4	Perairan Sangir Talaut	0,83	[23]
5	perairan laut Wakatobi Island	1,09	[24]
6	Pesisir Barat Pulau Sumatera	0,042-0,205	[21]
7	Teluk Jakarta	0,17-1,17	[5]
8	Laut Cina Selatan	2,33-5,00	[25]
	Selat Malaka	1,76-4,76	
9	Semenanjung Korea Selatan	1,6 - 1,9	[26]

Studi di perairan laut Sulawesi Selatan, aktivitas maksimum ¹³⁷Cs di air laut adalah sebesar 0,34 Bq/m³ [13], di perairan laut Sulawesi Utara berkisar antara 0,98 to 1,33 Bq/m³ [9] dan di perairan Sangir Talaut, rata rata aktivitas Cs-137 di air laut adalah sebesar 0,83 Bq.m³ [14] , di perairan laut Wakatobi Island, aktivitas Cs-137 sebesar 1,09Bq/m³ [15]. Dibandingkan dengan penelitian serupa di perairan laut Indonesia, maka konsentrasi Cs-137 di perairan Pantai Gosong berada dalam rentang yang sama.

Data Cs-137 yang terukur di perairan Pantai Gosong, juga dibandingkan dengan hasil pengukuran di Laut China Selatan dan perairan yang berhubungan. Di perairan lepas Semenanjung Korea selatan, konsentrasi ¹³⁷Cs terukur 1,6-1,9 mBq/L pada tahun 2014, dimana adanya pengaruh dari air Arus Kuroshio yang terkontaminasi radiocesium dari FDNPP Jepang [16]. Studi di laut Malaysia menemukan aktivitas ¹³⁷Cs ditemukan cukup merata di kisaran 2,33-5,00 Bq/m³ dan 1,76-4,76 Bq/m³ untuk Laut Cina Selatan dan Selat Malaka, masing-masing [17]. Data perbandingan konsentrasi aktivitas dari berbagai lokasi penelitian di laut Indonesia dapat di lihat pada Tabel 4.

Keberadaan Cs-137 di perairan Pantai Gosong Bengkayang Kalimantan Barat, diperkirakan berasal dari adanya arus lokal yang menyebar hingga ke perairan Pantai Gosong. Menurut [11] adanya arus lokal, akan menyebarkan radionuklida tersebut tersebar luas ke seluruh perairan laut Indonesia. Masuknya pencemar termasuk zat radioaktif dan energi radiasi baik dari daratan (*land base source of pollution*), dari laut (*marine base source of pollution*) maupun jatuhnya atmosferik (*global fallout*) akan bermuara dan terakumulasi

ke dalam lingkungan laut termasuk daerah pesisir pantai [18].

Selain dari penyebaran arus lokal, keberadaan Cs-137 di perairan laut Bengkayang juga diasumsikan berasal dari jatuhnya uji senjata nuklir yang jatuh di daratan Pulau Kalimantan, dan pada akhirnya akan sampai ke perairan karena adanya *runoff*. Perairan Pantai Gosong juga tidak terlepas dari adanya limpasan permukaan (*runoff*) yang merupakan sebagian dari air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju sungai, danau atau laut. Perairan Pantai Gosong termasuk dalam perairan dangkal dan cenderung keruh disertai adanya sungai sehingga keberadaan Cs-137 kemungkinan karena adanya *runoff* dari sungai yang bermuara ke perairan Pantai Gosong.

Runoff terjadi apabila tanah tidak mampu lagi menginfiltrasikan air di permukaan tanah karena tanah sudah dalam keadaan jenuh. Secara tidak langsung, *runoff* juga mempunyai pengaruh terhadap kualitas air sungai. Daerah yang memiliki *runoff* yang tinggi umumnya mempunyai kualitas air sungai yang buruk, seperti halnya Sungai Raya yang bermuara ke perairan Pantai Gosong yang membawa lumpur dari hulu sungai. Parameter kualitas air yang berpengaruh terhadap besarnya *runoff* adalah kekeruhan atau turbiditas. *Runoff* merupakan salah satu penyebab utama sungai- sungai di Indonesia mempunyai tingkat kekeruhan yang tinggi [19].

4.6 Analisis Erica Tools

Salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung tingkat dosis yang diserap oleh biota non-manusia adalah *Erica Tool* dengan menggunakan menu Tier 2.

Menurut [3], *Erica Tool* merupakan sistem perangkat lunak yang fleksibel dan terkomputerisasi yang memiliki struktur berdasarkan ERICA *Integrated Approach* untuk menilai risiko radiologi pada biota. (Makmur et al., 2020) Total dosis yang dihasilkan melalui Tier 2 dapat digunakan lebih lanjut untuk menentukan efek biologis dengan merujuk pada FEDERICA database sebagai data sediaan Tier 2, dimana screening level yang digunakan adalah sebesar 10 $\mu\text{Gy}/\text{h}$. Jika konsentrasi Cs-137 yang terdeteksi melebihi *screening level*, maka akan memberi efek pada makhluk hidup, seperti yang dikatakan pada [20]. Apabila suatu unsur sudah masuk dalam organisme laut seperti ikan dan rumput laut dan organisme tersebut dikonsumsi oleh manusia, maka akan mengganggu kesehatan seperti penyakit kanker dan paru-paru karena Cs-137 dapat mengendap pada semua jaringan tubuh manusia.

Dari hasil penelitian, dosis radiasi untuk biota laut yang berada di perairan Pantai Gosong lebih rendah dari tingkat dosis skrining dari 10 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$, menunjukkan bahwa radionuklida Cs-137 diasumsikan tidak memiliki efek samping yang signifikan mempengaruhi biota laut baik dari internal maupun eksternal. Dosis eksternal yang diterima biota tertinggi pada *Phytoplankton* dan yang terendah pada *Polychaete worm* yang masuk dalam kelompok cacing laut dan sebaliknya dosis internal yang diterima *Phytoplankton* terendah dan *Polychaete worm* menerima dosis tertinggi dari semua biota laut yang disimulasikan. Rendahnya dosis eksternal yang diterima oleh cacing laut menunjukkan bahwa Cs-137 yang berada di perairan tidak berpengaruh terhadap dosis yang diterima oleh cacing laut tersebut melalui kulit. Hal ini diperkirakan karena seluruh permukaan tubuh cacing laut polychaeta ini mengandung rambut-rambut kaku atau setae yang dilapisi kutikula sehingga licin dan kaku [21].

Cacing laut ini hidup dari memakan substrat nutrisi yang ada di perairan. Kelimpahan cacing laut jenis polychaeta di pengaruhi nutrisi yang tersebar di butiran sedimen dan liat serta adanya cangkang-cangkang organisme yang telah mati [21]. Dengan demikian keberadaan Cs-137 di perairan, terutama di sedimen yang dimakan oleh cacing ini berpotensi memberikan dosis

Cs-137 secara internal dari dalam tubuh cacing.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dari 4 parameter perairan didapatkan nilai pH berkisar antara 6,76-9,08, nilai salinitas berkisar antara 0,04-32,04‰, nilai suhu berkisar dari 28,37-31,1°C dan nilai TDS berkisar dari 0,025-30 Mg/L. Nilai ke empat parameter similar dengan penelitian lain pada lokasi yang berdekatan dan tidak terjadi perubahan kualitas lingkungan. Dari aspek radioekologi yang diwakili oleh nuklida ^{137}Cs , didapatkan konsentrasi aktivitasnya dari 6 titik pengambilan sampel rata-rata $0,5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, dimana aktivitas Cs-137 di perairan Pantai Gosong hampir sama nilainya dengan penelitian serupa di beberapa perairan Indonesia di asumsikan berasal dari *fallout* uji senjata nuklir dari kejadian masa lalu. Dosis radiasi Cs-137 pada biota laut yang berada di perairan Pantai Gosong lebih rendah dari tingkat dosis skrining dari 10 $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$, menunjukkan bahwa radionuklida Cs-137 tidak akan memiliki efek samping yang signifikan terhadap biota laut di perairan laut Pantai Gosong. Hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan kalau terjadi perubahan kualitas lingkungan setelah dibangun dan beroperasinya PLTN Kalimantan Barat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada bapak ibu dosen di Jurusan Ilmu Kelautan dan Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura dan bapak ibu peneliti di laboratorium Radioekologi Kelautan PTKMR BATAN yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih kepada Prof. Dr. Heny Suseno untuk ide dan pemikirannya. Penelitian ini didanai oleh LPDP-RN PLTN 2021 dengan kontrak Nomor: 9/EI/III/PRN/2020.

DAFTAR ACUAN

- [1] Min JS, Kim HR. Environmental impact on the Korean peninsula due to hypothetical accidental scenarios at the Haiyang nuclear power plant in China. *Prog Nucl Energy*. 2018;105(December 2017):254-62..
- [2] Zhou P, Li D, Zhao L, Li H, Zhao F, Zheng Y, et al. Radioactive status of seawater and its assessment in the northeast South China Sea and the Luzon Strait and its adjacent areas from 2011 to 2014. *Mar Pollut Bull*. 2018;131(April):163-73..
- [3] Manik HM. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;.
- [4] Priasetyono Y, Makmur M, Prihatiningsih WR, Yahya MN, Permana Putra DI. The Natural Radionuclide Activity and the Risk of Potential Radiation in Health Effect: A Study on Beach Sand in Madura, Bali, and Lombok. *J Kesehat Lingkung*. 2021;13(3):142..
- [5] Suseno H, Budiawan, Muslim, Makmur M, Yahya MN. Present status of marine radioecology in Jakarta Bay. *Atom Indones*. 2018;44(2):63-7..
- [6] Suhaemi, T, Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Menopang Kebutuhan Energi Listrik Nasional. *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 1(1), 162 - 170. <https://journal.uhamka.ac.id/index.php/teknoka/article/view/809>.
- [7] Makmur, M., "Metoda Cepat Untuk Penentuan Cesium-137 Dalam Air Laut." *Buletin Limbah*, vol. 8, no. 2, 2004.
- [8] Rosidah, F., Efektifitas dekontaminan Ammonium Iron (III) Hexacyanoferrate (NH₄Fe[Fe(CN)₆]) terhadap Cesium-137 pada Monyet ekor panjang (*Mocaca Fascicularis*), Skripsi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, 2009..
- [9] Putra DIP, Prihatiningsih WR, Makmur M, Yahya MN, Priasetyono Y, Utara. Distribution of some natural and anthropogenic radionuclides in the sediments and seawater along the coastal areas of North Sulawesi. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2021;890(1).
- [10] Budiawan, Suseno, M. E. Putri, W. R. Prihatiningsih MM. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*. 2021;10(2):200-8.
- [11] Y Priasetyono, M Makmur, M N Yahya, D I P Putra, W R Prihatiningsih HS. Updating of baseline radionuclides concentration in Jakarta Bay Updating of baseline radionuclides concentration in Jakarta. 2020.
- [12] Brown JE, Alfonso B, Avila R, Beresford NA, Copplestone D, Pröhl G, et al. The ERICA Tool. *J Environ Radioact*. 2008;99(9):1371-83..
- [13] Robi R, Aritonang A, Juane Sofiana MS. Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Samudera Indah Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. *J Laut Khatulistiwa*. 2021;4(1):20..
- [14] Hamuna B, Tanjung RHR, Suwito S, Maury HK, Alianto A. Kajian Kualitas Air Laut dan Indeks Pencemaran Berdasarkan Parameter Fisika-Kimia di Perairan Distrik Depapre, Jayapura. *J Ilmu Lingkung*. 2018;16(1):35..
- [15] Mega Sari Juane Sofiana, Ikha Safitri, Risiko, Karina E. Saputri TN. Analisis Kondisi Lamun *Thalassia hemprichii* Di Perairan Pulau Kabung Kabupaten Bengkayang Kalimantan Barat. 2020;3(2017):54-67..
- [16] BPSPL-Pontianak. Rencana Pengelolaan dan Zonasi Kawasan Konservasi Pesisir dan Pulau-pulau Kecil Taman Pulau Kecil Pulau randayan Kabupaten Bengkayang. 2019..
- [17] Armis A. Analisis Salinitas Air Pada Down Stream Dan Middle Stream Sungai Pampang Makassar Oleh: Aswin Armis Program Studi Teknik Universitas Hasanuddin. 2017;1-10..
- [18] Jumarang MI, Nurjaya IW, Atmadipoera AS, Bengen DG. Sebaran Salinitas Perairan Laut Kabupaten Bengkayang pada Musim Kemarau. *Positron*. 2020;10(1):64..
- [19] Yanti ND. Penilaian Kondisi Keasaman Perairan Pesisir dan Laut Kabupaten Pangkajene Kepulauan pada Musim Peralihan I. Skripsi Fak Ilmu Kelaut dan Perikanan, Univ Hasanuddin, Makassar. 2016.
- [20] Rinawati, Hidayat D, Suprianto R, Dewi P. Penentuan Kandungan Zat Padat (Total Dissolve Solid Dan Total Suspended Solid) Di Perairan Teluk Lampung. *Anal Environ Chem*. 2016;1(01):36-45..
- [21] Makmur M, Prihatiningsih WR, Yahya MN. Distribusi dan Kajian Dampak Radionuklida 137Cs Di Pesisir Barat Pulau Sumatera. *J Segara*. 2020;16(1):29-38..
- [22] Prihatiningsih WR, Makmur M. Radioactivity monitoring and radiological assessment of radionuclides at western coastal of South Sulawesi. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2021;860(1):012012..
- [23] Yahya MN, Utara, Makmur M, Prihatiningsih WR, Putra DIP, Priasetyono Y. Radioactivity level of coastal sediments and water across the Sangihe Island as the outlying islands of Indonesia. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2021;890(1):012008..
- [24] Priasetyono Y, Utara, Makmur M, Prihatiningsih WR, Yahya MN, Putra DIP. Baseline levels of radionuclides concentration in the sea of Wakatobi and Kendari. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*. 2021;890(1):012009..
- [25] Wo YM, Ahmad ZZ. Determination of 137 Cs in Seawater Surrounding Peninsular Malaysia - a Case Study. *J Nucl Related Technol*. 2004;1(2):19-28.
- [26] Inoue M, Shirovani Y, Nagao S, Aramaki T, Kim YI, Hayakawa K. Spatial variations of 226Ra, 228Ra, 134Cs, and 137Cs concentrations in western and southern waters off the Korean Peninsula in July 2014. *J Environ Radioact*[Internet].018:182(November 201.