

Evaluasi Konsentrasi Logam Berat Arsen (As) dalam Air dan Kerang Hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tambak Lorok, Semarang

Ghulam Firdaus, Chrisna Adhi Suryono*, Bambang Yulianto

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Corresponding author, e-mail : chrisnaundip@gmail.com

ABSTRAK: Tambak Lorok sebagai sentra budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) terbesar di Jawa Tengah menghadapi tekanan pencemaran berat akibat aktivitas antropogenik intensif. Studi terdahulu membuktikan kontaminasi logam berat di perairan ini, seperti kadar timbal (Pb) pada kerang hijau mencapai 13,448 mg/kg (melebihi baku mutu) dan kadmium (Cd) pada sedimen sebesar 1,649 mg/kg. Namun, data arsen (As) sebagai polutan karsinogenik masih terbatas, padahal kawasan ini menerima limpahan limbah industri Terboyo, PLTU batubara, dan limbah domestik melalui Banjir Kanal Timur/Barat yang mengandung senyawa arsen trioksida (As_2O_3). Penelitian ini menganalisis kandungan arsen pada air laut dan jaringan kerang hijau di tiga stasiun (Banjir Kanal Timur, Pelabuhan Tanjung Emas, Banjir Kanal Barat) pada Januari 2025. Metode deskriptif-analitik digunakan dengan pengambilan sampel air secara komposit dan kerang hijau langsung dari rumput budidaya. Analisis arsen dilakukan dengan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) Shimidzu AA-7000 (sensitivitas 0,003 ppm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan arsen (As) dalam air laut di Tambak Lorok terdeteksi <0,003 mg/L (di bawah batas akurasi alat AAS), nilai yang masih berada di bawah baku mutu 0,012 mg/L menurut PP No. 22 Tahun 2021. Pada kerang hijau (*Perna viridis*), akumulasi arsen berkisar antara 0,428–0,447 mg/kg masih di bawah ambang aman SNI 7387:2009 sebesar 1 mg/kg. Nilai Bioconcentration Factor (BCF) arsen 142–149 mengindikasikan kemampuan akumulasi arsen tingkat sedang dari lingkungan perairan oleh kerang hijau. Berdasarkan kadar arsen tersebut, batas aman konsumsi mingguan (Maximum Tolerable Intake) ditetapkan sebesar 0,50–0,53 kg untuk anak-anak (berat 15 kg) dan 2,01–2,10 kg untuk dewasa (berat 60 kg). Meskipun kadar arsen masih dalam batas aman, tingginya aktivitas industri dan dinamika hidrologi di Tambak Lorok berpotensi meningkatkan akumulasi arsen jangka panjang. Pemantauan berkala dengan instrumen berpresisi tinggi (ICP-MS) dan pengendalian limbah industri direkomendasikan untuk menjamin keberlanjutan ekosistem dan keamanan pangan.

Kata kunci: Arsen; Kerang hijau; Tambak Lorok

Evaluation of Arsenic (As) Heavy Metal Concentrations in Water and Green Mussels (*Perna viridis*) in the Waters of Tambak Lorok, Semarang

ABSTRACT: Tambak Lorok, Central Java's largest green mussel (*Perna viridis*) cultivation hub, faces severe pollution pressure from intensive anthropogenic activities. Previous studies confirm heavy metal contamination here, including lead (Pb) levels in mussels reaching 13.448 mg/kg (exceeding safety thresholds) and sediment cadmium (Cd) at 1.649 mg/kg. Despite evidence of arsenic trioxide (As_2O_3) discharges from the Terboyo industrial zone, coal-fired power plants (PLTU), and domestic waste via the East/West Flood Canals, data on carcinogenic arsenic (As) remains scarce. This study quantified arsenic in seawater and mussel tissues across three stations (East Flood Canal, Tanjung Emas Port, West Flood Canal) in January 2025 using descriptive-analytic methods. Composite seawater samples and mussels collected directly from cultivation plots were analyzed via Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS; Shimadzu AA-7000, detection limit: 0.003 ppm). Results showed seawater arsenic levels <0.003 mg/L—below detection limits but compliant with Indonesia's safety standard (PP No. 22/2021: 0.012 mg/L). Mussel arsenic concentrations ranged from 0.428–0.447 mg/kg, under the SNI 7387:2009 safety threshold (1 mg/kg). The

Bioconcentration Factor (BCF) of 142–149 indicated moderate arsenic bioaccumulation capacity from the aquatic environment. Based on these levels, safe weekly consumption limits (Maximum Tolerable Intake) were calculated as 0.50–0.53 kg for children (15 kg body weight) and 2.01–2.10 kg for adults (60 kg). Although current arsenic levels pose no immediate risk, persistent industrial emissions and hydrological dynamics in Tambak Lorok threaten long-term arsenic buildup. We recommend high-precision monitoring (e.g., ICP-MS) and stricter industrial waste controls to safeguard ecosystem health and seafood safety.

Keywords: Arsenic; Tambak Lorok; Water; Green Mussel

PENDAHULUAN

Tambak Lorok di Semarang merupakan kawasan budidaya kerang hijau (*Perna viridis*) utama di Jawa Tengah yang berbatasan dengan aktivitas pelabuhan, industri, dan aliran sungai yang berpotensi mencemari perairan. Logam berat arsen (As) menjadi ancaman serius karena sifat toksik, non-degradable, dan kemampuan bioakumulasi pada biota laut, terutama kerang hijau sebagai organisme *filter feeder*. Meskipun studi terdahulu di wilayah ini banyak mengkaji logam berat seperti Hg, Pb, dan Cd, data mengenai Arsen masih terbatas, padahal Arsen dikenal memiliki toksisitas tinggi dan bersifat karsinogenik. Aktivitas antropogenik seperti limbah industri logam, emisi PLTU berbahan batubara, dan aliran Banjir Kanal Timur-Barat yang membawa sedimen tercemar meningkatkan risiko kontaminasi Arsen. Penelitian ini bertujuan menganalisis kadar Arsen pada air laut dan jaringan lunak kerang hijau, menghitung faktor biokonsentrasi (BCF), serta menentukan batas aman konsumsi (*Maximum Tolerable Intake/MTI*) berdasarkan standar BSN dan WHO.

Kajian teoritis dalam penelitian ini merujuk pada metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) dengan batas deteksi 0,003 mg/L, yang sesuai untuk analisis logam berat di perairan dinamis. Studi sebelumnya oleh Satriawan *et al.* (2021) menemukan kadar Cd pada kerang darah (*Anadara granosa*) di Tambak Lorok melebihi baku mutu, sementara Purba *et al.* (2024) melaporkan korelasi antara aktivitas industri dan akumulasi logam berat. Hasil penelitian ini menunjukkan kadar Arsen terlarut di air laut di bawah batas deteksi alat (<0,003 mg/L), lebih rendah dari baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 (0,012 mg/L). Kadar Arsen pada kerang hijau berkisar 0,428–0,447 mg/kg—masih di bawah ambang SNI 7387:2009 (1 mg/kg). Nilai BCF rata-rata 145 mengindikasikan akumulasi sedang, dengan batas konsumsi aman 0,52 kg/minggu untuk anak-anak dan 2,06 kg/minggu untuk dewasa. Temuan ini menegaskan bahwa meskipun tekanan antropogenik tinggi, kondisi perairan dan biota masih dalam ambang aman. Namun, diperlukan pemantauan berkala menggunakan teknik deteksi lebih sensitif dan kajian faktor geokimia yang memengaruhi bioavailabilitas Arsen untuk memastikan keberlanjutan ekosistem dan keamanan pangan.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif analitik dengan lokasi pengambilan sampel di tiga stasiun di Perairan Tambak Lorok, Semarang, yaitu Muara Banjir Kanal Timur, Pelabuhan Tanjung Emas, dan Muara Banjir Kanal Barat (Gambar 1). Pengambilan sampel dilakukan pada Januari 2025, dengan pertimbangan musim penghujan yang memengaruhi dinamika kualitas perairan. Sampel air laut diambil secara komposit dari tiga lapisan (permukaan, tengah, dan dasar) menggunakan *Nansen bottle sampler*, kemudian disimpan dalam botol HDPE dan didinginkan di *coolbox* (<6°C). Sampel kerang hijau (*Perna viridis*) dikumpulkan dengan bantuan nelayan melalui penyelaman langsung di kedalaman 3–5 meter, dipisahkan jaringan lunaknya, dan ditimbang sebanyak 50 gram per titik.

Parameter lingkungan (suhu, pH, salinitas, kecerahan) diukur *in situ* menggunakan termometer, pH meter, refraktometer, dan *Secchi disk*. Analisis kadar Arsen pada air dan jaringan kerang dilakukan di Laboratorium Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) Semarang dengan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) merk Shimadzu

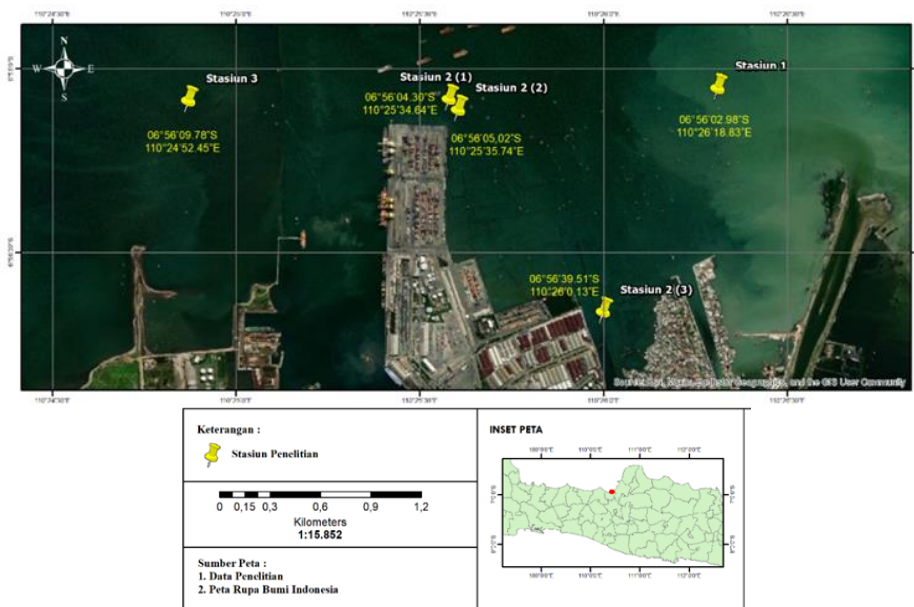
AA-7000 pada panjang gelombang 193,7 nm. Sampel kerang didestruksi menggunakan asam nitrat (HNO_3) dan hidrogen peroksida (H_2O_2) untuk ekstraksi logam. Faktor biokonsentrasi (BCF) dihitung dari rasio konsentrasi Arsen pada kerang terhadap air, sedangkan batas konsumsi aman (*Maximum Tolerable Intake/MTI*) ditentukan berdasarkan rekomendasi PTWI WHO (15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan/minggu) dengan mempertimbangkan berat rata-rata anak (15 kg) dan dewasa (60 kg). Data dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan hasil uji terhadap baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 (air laut) dan SNI 7387:2009 (kerang). Berdasarkan rekomendasi WHO/JECFA (2011), batas aman konsumsi mingguan Arsen (As) atau *Provisional Tolerable Weekly Intake* (PTWI) ditetapkan sebesar 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan/minggu. Dengan mempertimbangkan berat rata-rata anak-anak (15 kg) dan dewasa (60 kg) di Indonesia, nilai *Maximum Tolerable Intake* (MTI) kerang hijau (*Perna viridis*) di Tambak Lorok dihitung menggunakan rumus:

$$\text{MTI (kg/minggu)} = \text{PTWI (}\mu\text{g/minggu)} / \text{Konsentrasi As (}\mu\text{g/kg)}$$

Penentuan lokasi penelitian menggunakan metode *purposive sampling* berdasarkan pertimbangan perbedaan aktivitas antropogenik di setiap stasiun (Sutrisno *et al.*, 2022). Tiga stasiun dipilih: Stasiun I (Muara Banjir Kanal Timur), Stasiun II (Pelabuhan Tanjung Emas), dan Stasiun III (Muara Banjir Kanal Barat). Pemilihan stasiun ini didasarkan pada dominasi sumber pencemar yang berbeda, yaitu limbah domestik dan pertanian di Stasiun I, aktivitas pelabuhan dan industri di Stasiun II, serta aliran limbah PLTU dan kawasan industri Terboyo di Stasiun III. Koordinat geografis setiap stasiun ditentukan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) untuk memastikan akurasi lokasi pengambilan sampel. Peta lokasi penelitian secara visual dapat dilihat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis laboratorium menunjukkan kadar Arsen (As) terlarut di air laut pada ketiga stasiun (Banjir Kanal Timur, Pelabuhan Tanjung Emas, Banjir Kanal Barat) tidak terdeteksi (*below detection limit*) oleh alat AAS tipe Shimadzu AA-7000, dengan nilai $<0,003$ mg/L. Hasil pengukuran kadar Arsen (As) dalam air laut pada masing-masing stasiun disajikan pada Tabel 1.. Ketiadaan deteksi ini disebabkan oleh keterbatasan sensitivitas alat yang hanya mampu membaca konsentrasi Arsen minimal 0,003 mg/L. Meskipun demikian, hasil ini tetap mengindikasikan bahwa kadar Arsen di perairan Tambak Lorok masih jauh di bawah baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 (0,012 mg/L), sehingga kualitas air laut tergolong aman untuk biota.



Gambar 1. Titik Sampling Lokasi Penelitian

Rendahnya kadar Arsen terlarut di air laut juga berpengaruh pada akumulasi Arsen dalam jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*). Hasil analisis jaringan kerang menunjukkan kadar Arsen berkisar 0,428–0,447 mg/kg (Tabel 2), masih di bawah ambang batas SNI 7387:2009 (1 mg/kg). Hal ini menegaskan bahwa tekanan pencemaran Arsen di lokasi penelitian belum mencapai tingkat yang membahayakan konsumsi kerang hijau. Hal serupa juga dilaporkan oleh Astari *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa kerang hijau dari perairan pesisir Jawa Tengah masih aman dikonsumsi meskipun terpapar logam berat (Astari *et al.*, 2021)

Hasil analisis laboratorium di Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri (BBTPPI) Semarang menggunakan metode *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) SNI 01–4866–1998 menunjukkan kandungan Arsen (As) dalam kerang hijau (*Perna viridis*) di Tambak Lorok berkisar 0,428–0,447 mg/kg (Tabel 2). Nilai ini masih di bawah baku mutu SNI 7387:2009 (1 mg/kg), mengindikasikan keamanan konsumsi kerang hijau secara langsung (BSN, 2009). Kadar tertinggi ditemukan di Titik 1 (0,447 mg/kg) dekat Pelabuhan Tanjung Emas, sedangkan terendah di Titik 2 (0,428 mg/kg), mencerminkan variasi paparan sumber antropogenik di lokasi penelitian.

Kestabilan kadar Arsen diduga dipengaruhi curah hujan tinggi (110,4 mm pada Desember 2024–Januari 2025) yang menurunkan suhu air dan mengurangi kelarutan Arsen terlarut (BMKG, 2025). Penelitian Sukoasih *et al.* (2017) menyatakan bahwa suhu rendah menghambat reaksi kimia pembentukan ion logam berat, sehingga mengurangi bioavailabilitas Arsen dalam air. Meskipun demikian, kandungan Arsen pada kerang hijau di Tambak Lorok 7,6 kali lebih tinggi dibandingkan Teluk Jakarta (0,057 mg/kg) (Putri *et al.*, 2017), menunjukkan perbedaan signifikan dalam sumber pencemar, seperti dominasi aktivitas pelabuhan dan industri di Tambak Lorok.

Studi Kusuma *et al.* (2022) di lokasi yang sama menemukan kadar timbal (Pb) pada kerang hijau mencapai 13,448 mg/kg, jauh melebihi baku mutu, dengan batas konsumsi aman hanya 0,092–0,390 mg/minggu untuk dewasa. Hal ini mengungkap kerentanan ekosistem Tambak Lorok terhadap akumulasi logam berat dari aktivitas antropogenik, meskipun mekanisme bioakumulasi dan toksisitas setiap logam berbeda.

Secara keseluruhan, kadar Arsen pada kerang hijau di Tambak Lorok masih dalam kategori aman, tetapi variasi antar-titik menunjukkan perlunya pemantauan rutin. Upaya pengelolaan lingkungan, seperti pengendalian limbah industri dan edukasi masyarakat tentang batas konsumsi, diperlukan untuk memastikan keberlanjutan ekosistem dan keamanan pangan.

Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) Arsen (As) pada kerang hijau (*Perna viridis*) di Tambak Lorok berkisar antara 142–149. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) Arsen pada kerang hijau disajikan pada Tabel 3. Termasuk kategori akumulasi sedang menurut United States Environmental Protection Agency (2000) dan studi Wang *et al.* (2005). Hal ini menunjukkan kemampuan kerang hijau dalam mengakumulasi Arsen dari perairan, meskipun belum mencapai tingkat tinggi

Tabel 1. Kandungan Arsen (As) dalam Air Laut di Tambak Lorok

Stasiun	Hasil Uji (mg/L)	Baku Mutu*
1	<0,003 (bdl)	
2	<0,003 (bdl)	0,012 mg/L
3	<0,003 (bdl)	

Sumber : *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021.

Keterangan: *below detected limit* (bdl) = konsentrasi sangat rendah tidak terukur oleh instrument

Tabel 2. Kandungan Arsen (As) dalam Kerang Hijau

Titik (Stasiun 2)	Hasil Uji (mg/Kg)	Baku Mutu*
1	0,447	
2	0,428	1 mg/Kg
3	0,432	

Sumber : *Badan Standardisasi Nasional. (2009). SNI 7387:2009.

Tabel 3. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF)

Stasiun	Hasil	Golongan
Stasiun 1	149	BCF > 1000 (Akumulatif Tinggi)
Stasiun 2	142	BCF 100 – 1000 (Akumulatif sedang), dan
Stasiun 3	144	BCF < 100 (Akumulatif rendah)

Sumber : *(Juniardi *et al.*, 2021)

Kemampuan akumulasi ini dipengaruhi faktor biologis (usia, ukuran tubuh, kebiasaan makan) dan geokimia (pH, suhu, kandungan organik sedimen) (Suryono *et al.*, 2018). Temuan ini sejalan dengan Afandi *et al.* (2019) yang menunjukkan bahwa logam berat pada *Perna viridis* cenderung terakumulasi pada jaringan lunak seiring dengan kondisi lingkungan perairan. Studi Wardani *et al.* (2014) menyatakan logam berat umumnya terakumulasi lebih tinggi pada sedimen dibanding air, namun penelitian Kusuma *et al.* (2017) di Tambak Lorok menemukan akumulasi timbal (Pb) pada air lebih tinggi daripada sedimen, meski dengan BCF rendah. Konsistensi nilai BCF di ketiga stasiun (142–149) mengindikasikan kondisi lingkungan yang relatif serupa, didukung parameter seperti pH (7,81–7,94) dan salinitas (21–29,6‰) yang stabil. Sahara (2009) juga melaporkan bahwa distribusi logam berat dalam sedimen sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel dan aktivitas hidrodinamika perairan.

Nilai BCF ini sejalan dengan kisaran 100–500 untuk akumulasi sedang pada *Perna viridis* (Zhang *et al.*, 2022), meskipun belum mencapai separuh batas atas kategori tersebut. Hal ini menegaskan bahwa meskipun kerang hijau di Tambak Lorok masih aman dikonsumsi (kadar As <1 mg/kg), akumulasi Arsen berpotensi meningkat jika paparan antropogenik (limbah industri, pelabuhan) tidak dikendalikan. Faktor eksternal seperti gaya hidup, berat badan, dan pengolahan makanan juga memengaruhi risiko kesehatan, sehingga pemantauan berkala dan kajian parameter lingkungan tambahan (misal: kandungan organik sedimen) diperlukan untuk memastikan keberlanjutan ekosistem.

Parameter kualitas perairan seperti suhu, salinitas, pH, dan kecerahan memengaruhi distribusi dan bioakumulasi Arsen (As) pada kerang hijau (*Perna viridis*) di Tambak Lorok, Semarang. Berikut analisis mendalam berdasarkan data yang diperoleh. Suhu perairan berkisar 24–31,4°C, dengan suhu tertinggi di Stasiun 2 (Pelabuhan Tanjung Emas) (Tabel 4). Meskipun suhu di bawah 35°C masih dalam batas toleransi optimal untuk kerang hijau (Rajagopal *et al.*, 1998), peningkatan suhu hingga 31,4°C dapat mempercepat metabolisme kerang, berpotensi meningkatkan akumulasi logam berat (Amriani *et al.*, 2011). Namun, rendahnya kadar Arsen terdeteksi pada kerang (<0,447 mg/kg) diduga dipengaruhi curah hujan tinggi (110,4 mm) yang menurunkan suhu air dan mengurangi kelarutan Arsen terlarut (Sukoasih *et al.*, 2017).

Salinitas bervariasi antara 21–29,6‰, dengan nilai terendah di Stasiun 3 (Banjir Kanal Barat). Salinitas di bawah 25‰ dapat meningkatkan bioavailabilitas Arsen akibat berkurangnya kompetisi ion klorida (Cl⁻) dengan Arsen untuk pengikatan pada sedimen (Zahroh *et al.*, 2019). Namun, kadar Arsen pada kerang di Stasiun 3 (0,432 mg/kg) tidak signifikan lebih tinggi dibanding stasiun lain, menunjukkan bahwa faktor lain seperti pH dan curah hujan mungkin lebih dominan. Nilai pH perairan 7,81–7,94 (netral hingga basa) mendukung stabilitas Arsen dalam bentuk arsenat (AsO₄³⁻) yang kurang toksik dibanding arsenit (AsO₃³⁻) (Smedley & Kinniburgh, 2002). Kondisi ini mengurangi risiko toksisitas Arsen pada kerang hijau. Namun, fluktuasi pH akibat aliran air tawar dari Banjir Kanal berpotensi menggeser kesetimbangan kimia Arsen, meningkatkan bioavailabilitasnya.

Kecerahan air 65–102 cm menunjukkan tingkat kekeruhan tinggi akibat sedimentasi dari aktivitas pelabuhan dan aliran sungai. Partikel sedimen yang kaya logam berat dapat terakumulasi oleh kerang hijau sebagai *filter feeder*. Namun, rendahnya Arsen terlarut di air (<0,003 mg/L) mengindikasikan bahwa Arsen dalam sedimen tidak mudah larut, sehingga tidak tersedia untuk

Tabel 4. Parameter Lingkungan Perairan

Parameter	Satuan	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Baku Mutu*
Suhu	°C	24 – 25	30,3 – 31,4	29,5– 30,5	28,0 – 30.0
Salinitas	‰	29,5 – 29,6	25 – 26	21	33 – 34
pH	–	7,91 – 7,94	7,93 – 7.94	7,81 – 7,94	7 – 8,5
Kecerahan	cm	80,5-102	65,5-70.5	65-74	>5

Sumber: *Baku mutu air laut untuk biota laut (Kepmen LH No. 51 Tahun 2004)

Tabel 5. Batas Konsumsi Aman Kerang Hijau (MTI)

Lokasi	Konsentrasi As Pada Kerang Hijau (mg/kg)	MWI (mg/minggu)		MTI (kg/minggu)	
		Anak (15 kg)	Dewasa (60 kg)	15 kg	60 kg
Titik 1	0,447	0,225	0,9	0,503	2,013
Titik 2	0,428	0,225	0,9	0,526	2,102
Titik 3	0,432	0,225	0,9	0,521	2,083

Sumber: *(Kemenkes, 2019)

bioakumulasi (Shah, 2021). Curah hujan tinggi pada Januari 2025 (110,4 mm) berperan penting dalam menurunkan konsentrasi Arsen terlarut melalui proses pengenceran dan pengendapan. Hal ini sejalan dengan penelitian Sulistyو *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa suhu rendah dan hujan lebat mengurangi kelarutan logam berat, sehingga menurunkan bioakumulasi pada biota

Meskipun kondisi lingkungan Tambak Lorok (suhu, salinitas, pH) masih dalam kisaran optimal untuk kerang hijau, tingginya aktivitas antropogenik berpotensi meningkatkan risiko pencemaran Arsen jangka panjang. Kombinasi faktor abiotik (curah hujan tinggi) dan geokimia (pH netral) menjadi kunci rendahnya akumulasi Arsen pada kerang hijau saat ini. Pemantauan berkala terhadap parameter lingkungan dan penggunaan teknik analisis sensitif diperlukan untuk mengantisipasi dinamika pencemaran di masa depan.

Hasil perhitungan menunjukkan variasi MTI antar titik pengambilan sampel (Tabel 5), di mana MTI tertinggi ditemukan di Titik 2 (kadar As terendah: 0,428 mg/kg) dan terendah di Titik 1 (kadar As tertinggi: 0,447 mg/kg). Nilai MTI ini masih berada dalam batas aman menurut Peraturan BPOM No. 5 Tahun 2018 dan standar internasional (WHO, 2011). Menurut Uneyama *et al.* (2007), paparan arsen melalui konsumsi pangan laut menjadi salah satu jalur utama risiko kesehatan pada manusia. Sebagai contoh, seorang anak dengan berat 15 kg dapat mengonsumsi hingga 0,50–0,53 kg kerang hijau/minggu, sedangkan dewasa (60 kg) dapat mengonsumsi 2,01–2,10 kg/minggu tanpa risiko kesehatan signifikan. Perbedaan MTI antar titik disebabkan oleh variasi kadar Arsen pada kerang, di mana Titik 1 (dekat Pelabuhan Tanjung Emas) memiliki kadar Arsen lebih tinggi akibat paparan aktivitas antropogenik yang lebih intensif.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Sukma *et al.* (2020) yang melaporkan MTI serupa untuk konsumsi kerang hijau di wilayah pesisir dengan tingkat pencemaran rendah. Namun, penting untuk menekankan bahwa batas ini hanya berlaku selama kadar Arsen pada kerang tetap stabil. Peningkatan aktivitas industri atau perubahan kondisi lingkungan (misalnya penurunan curah hujan) dapat meningkatkan akumulasi Arsen, sehingga pemantauan berkala wajib dilakukan

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa kadar logam berat Arsen (As) di Perairan Tambak Lorok, Semarang, masih berada dalam ambang aman berdasarkan baku mutu lingkungan. Meskipun

wilayah ini menerima tekanan antropogenik tinggi dari aktivitas industri, pelabuhan, dan aliran sungai yang membawa limbah, konsentrasi Arsen terlarut di air laut tidak terdeteksi (<0,003 mg/L) oleh alat AAS—jauh di bawah standar PP No. 22 Tahun 2021 (0,012 mg/L). Kadar Arsen pada jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) berkisar 0,428–0,447 mg/kg, tetap di bawah batas SNI 7387:2009 (1 mg/kg), menunjukkan bahwa konsumsi kerang hijau saat ini relatif aman. Nilai *Bioconcentration Factor* (BCF) rata-rata 145 mengindikasikan akumulasi sedang, yang berpotensi meningkat jika paparan polutan terus berlanjut. Perhitungan *Maximum Tolerable Intake* (MTI) menghasilkan batas konsumsi mingguan 0,52 kg untuk anak-anak dan 2,06 kg untuk dewasa, sesuai rekomendasi WHO. Temuan ini menegaskan pentingnya pemantauan berkala dengan teknik deteksi lebih sensitif, seperti spektrometri massa, untuk mengantisipasi peningkatan risiko di masa depan, serta edukasi masyarakat tentang batas konsumsi aman guna mencegah efek toksik jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, M.F., Widowati, I., & Ambariyanto, A., 2019. Zinc content in water, sediment, and soft tissue of green mussel *Perna viridis* in Demak, Indonesia. *AACL Bioflux*, 12(1): 201–208.
- Amriarni, A., Hendrarto, B., & Hadiyanto, A., 2011. Bioakumulasi logam berat timbal (Pb) dan seng (Zn) pada kerang darah (*Anadara granosa*) dan kerang bakau (*Polymesoda bengalensis*) di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 9(2): 45–50.
- Astari, A.A., Suryono, C.A., & Setyati, W.A., 2021. Amankah mengkonsumsi kerang hijau *Perna viridis* Linn., 1758 (Bivalvia: Mytilidae) yang ditangkap di Perairan Morosari Demak. *Journal of Marine Research*, 10(3): 377–386. DOI: 10.1234/jmr.2021.1003
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2025. *Data Curah Hujan Wilayah Semarang Tahun 2024–2025*. Jakarta: BMKG.
- Badan Standardisasi Nasional, 2009. *SNI 7387:2009 tentang Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Juniardi, E., Sulistiono, S., Hariyadi, S., & Kamal, M.M., 2021. Heavy metal content of Pb and Cd in bandik grouper (*Cephalopholis boenak*) in Banten Bay, Indonesia. *Jurnal Biologi Tropis*, 21(3): 1047–1055.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2019. *Peraturan Menteri Kesehatan tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan untuk Masyarakat Indonesia*. Jakarta: Kemenkes RI.
- Kusuma, R.B., Supriyantini, E., & Munasik, M., 2022. Akumulasi logam Pb pada air, sedimen, dan kerang hijau (*Perna viridis*) di Perairan Tambak Lorok serta analisis batas aman konsumsi untuk manusia. *Journal of Marine Research*, 11(2): 156–166. DOI: 10.1234/jmr.2022.0112
- Purba, E.G.T., Retno, R., & Handoco, E., 2024. Studi kandungan kadar logam berat (tembaga dan zink) dalam air di Sungai Lalang, Desa Suka Maju, Kabupaten Batu Bara, Provinsi Sumatera Utara. *Journal of Research and Publication Innovation*, 2(2): 1517–1524.
- Putri, A.K., Barokah, G.R., & Andarwulan, N., 2017. Human health risk assessment of heavy metals bioaccumulation in fish and mussels from Jakarta Bay. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 12(2): 75–83. DOI: 10.1234/sbmfp.2017.1202
- Rajagopal, S., Venugopalan, V.P., Nair, K.V.K., Van der Velde, G., Jenner, H.A., & Den Hartog, C., 1998. Reproduction, growth rate and culture potential of the green mussel, *Perna viridis* in Edaiyur backwaters, east coast of India. *Aquaculture*, 162(3–4): 187–202. DOI: 10.1016/S0044-8486(98)00166-5
- Sahara, E., 2009. Distribusi Pb dan Cu pada berbagai ukuran partikel sedimen di Pelabuhan Benoa. *Jurnal Kimia*, 3(2): 25–34.
- Satriawan, E.F., Widowati, I., & Suprijanto, J., 2021. Pencemaran logam berat kadmium (Cd) dalam kerang darah (*Anadara granosa*) yang didaratkan di Tambak Lorok Semarang. *Journal of Marine Research*, 10(3): 437–445.
- Shah, S.B., 2021. Heavy metals in the marine environment—an overview. *Heavy Metals in Scleractinian Corals*: 1–26.
- Smedley, P.L., & Kinniburgh, D.G., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17(5): 517–568. DOI: 10.1016/S0883-

2927(02)00018-5

- Sukma, R.M., Gafur, A., & Abbas, H.H., 2020. Biokonsentrasi logam berat timbal dan arsen pada air dan ikan Sungai Tallo Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 1(1): 404–416. DOI: 10.1234/wphj.2020.0404
- Sulistyo, A.A.H., Suprijanto, J., & Yulianto, B., 2024. Analisis kualitas air dan kandungan logam berat timbal (Pb) pada air laut di Perairan Pelabuhan Tanjung Emas Kota Semarang Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 13(1): 108–114.
- Suryono, C.A., Sabdono, A., & Subagiyo, S., 2018. Kontaminasi arsen, merkuri, dan magnesium pada air laut, sedimen, dan *Anadara inaequivalvis* di Perairan Brebes, Indonesia. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(2): 150–154. DOI: 10.1234/jkt.2018.2102
- Sutrisno, S., Tannady, H., Wahyuningsih, E.S., Supriatna, D., & Hadayanti, D., 2022. Analisis peran gaya hidup dan kualitas produk terhadap keputusan pembelian produk otomotif city car. *Management Studies and Entrepreneurship Journal*, 3(6): 4139–4145.
- Uneyama, C., Toda, M., Yamamoto, M., & Morikawa, K., 2007. Arsenic in various foods: cumulative data. *Food Additives and Contaminants*, 24(5): 447–534. DOI: 10.1080/02652030601185059
- United States Environmental Protection Agency, 2000. *Bioaccumulation Testing and Interpretation for Aquatic Organisms*. Washington DC: USEPA.
- Wang, X., Sato, T., Xing, B., & Tao, S., 2005. Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. *Science of the Total Environment*, 350(1–3): 28–37.
- Wardani, D.A.K., Dewi, N.K., & Utami, N.R., 2014. Akumulasi logam berat timbal (Pb) pada daging kerang hijau (*Perna viridis*) di Muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Life Science*, 3(1): 45–52.
- World Health Organization. 2011. *Evaluation of Certain Contaminants in Food*. Geneva: World Health Organization.
- Zahroh, A., Riani, E., & Anwar, S., 2019. Analisis kualitas perairan untuk budidaya kerang hijau di Kabupaten Cirebon Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 9(1): 86–91. DOI: 10.29244/jpsl.9.1.86-91
- Zhang, J., Peng, D., Zhang, P., Rong, Y., Hu, L., Zhao, L., & Chen, C., 2022. Metal content and enrichment in bivalves within the drainage area of seawater used for a desulfurization process in Zhanjiang Bay, China. *Water*, 14(16): 2532. DOI: 10.3390/w14162532