

PENGGUNAAN INDEKS PENCEMARAN LOGAM BERAT DALAM SEDIMEN**DI WILAYAH PESISIR: STUDI KASUS SEGARA ANAKAN****CILACAP JAWA TENGAH****Triyoni Purbonegoro^{1*}**¹Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta Utara, 14430

*Alamat email: triyoni.purbonegoro@lipi.go.id

ABSTRACT

The concentration of heavy metals in the water column does not necessarily reflect the actual pollution of coastal waters. This is because the concentrations of heavy metals in water columns are generally lower than in sediments. Heavy metal contamination in sediments is a serious threat to coastal ecosystems and has become a major concern for the community. For better management of coastal ecosystems, stakeholders need information on environmental conditions that is easy to understand. The pollution index is very useful for processing, analyzing, and translating 'raw' environmental data into easily understood information. The CF index is useful for determining the pollution status of single metal, while the PLI index is useful for determining the pollution status of several heavy metal contaminants in sediments. The Igeo index determines the level of pollution by taking into account the effects of variations in the earth's layers (lithosphere), while the EF index determines the level of heavy metal enrichment and determines whether the enrichment is natural or comes from human activities (anthropogenic). Finally, the PERI index determines the ecological risk caused by the contamination of several metals by taking into account the toxic response of each metal.

Keywords: heavy metals, sediments, contamination, indices, coastal environment.

PENDAHULUAN

Konsentrasi logam berat dalam sedimen umumnya lebih tinggi dibandingkan dalam kolom air (Jahan & Strezov, 2018), sehingga pengukuran konsentrasi logam berat dalam kolom air tidak dapat mencerminkan kondisi pencemaran sesungguhnya (Luoma & Rainbow, 2008). Banyak peneliti meyakini bahwa distribusi konsentrasi logam berat dalam sedimen dapat merefleksikan tingkat pencemaran di suatu perairan (Guo et al., 2010). Logam berat cenderung berikatan dengan material organik dan anorganik dan mengendap dalam sedimen di area deposisi seperti; sungai, danau, muara, dan pada

akhirnya di perairan laut (Burton, 2002). Logam berat dalam sedimen dapat terlepas kembali ke kolom air melalui proses kimia dan biologi yang rumit, oleh karena itu sedimen dapat menjadi sumber pencemaran yang potensial (Yang et al., 2012; Christophoridis et al., 2019; Gu & Gao, 2019). Sedimen yang terkontaminasi dapat mengganggu ekosistem di sekitarnya hingga menyebabkan dampak signifikan khususnya pada komunitas bentik (Burton, 2002).

Hasil kajian pencemaran harus dapat dikomunikasikan dengan mudah kepada para pemangku kepentingan dalam rangka upaya pengelolaan wilayah pesisir yang

baik (Caeiro et al., 2005). Indeks pencemaran sangat berguna untuk mengolah, menganalisis, dan mengartikan data lingkungan yang masih ‘mentah’ menjadi informasi yang mudah dipahami oleh pembuat keputusan, pengelola lingkungan, atau masyarakat (Caeiro et al., 2005; Christophoridis et al., 2019). Tulisan ini bertujuan untuk menjelaskan penggunaan indeks-indeks pencemaran yang umum digunakan dengan mengangkat studi kasus di wilayah Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah, dalam menentukan status pencemaran dan risiko ekologis yang mungkin ditimbulkan.

INDEKS PENCEMARAN LOGAM BERAT DALAM SEDIMEN

Beberapa indeks pencemaran yang umum digunakan dalam mengkaji pencemaran logam dalam sedimen di wilayah pesisir antara lain adalah; *Pollution load index* (PLI), *Geo-accumulation Index* (Igeo), *Enrichment Factor* (EF) dan *Potential ecological risk index* (PERI) (Guo et al., 2010; Jahan & Strezov, 2018; Christophoridis et al., 2019). PLI pertama kali diperkenalkan oleh Tomlinson et al. (1980). Indeks ini bertujuan untuk menentukan status pencemaran logam dalam sedimen di suatu perairan (Jahan & Strezov, 2018; Christophoridis et al., 2019). Nilai PLI menentukan apakah suatu perairan berstatus tidak tercemar atau tercemar oleh suatu kumpulan logam (Tomlinson et al., 1980). Indeks Igeo pertama kali diperkenalkan oleh Müller (1979). Penentuan Igeo bertujuan untuk menentukan tingkat pencemaran logam berat dalam sedimen wilayah pesisir dengan mempertimbangkan efek variasi lapisan bumi (litosfer) (Syakti et al., 2015; Christophoridis et al., 2019). Indeks EF

bertujuan untuk menentukan tingkat pengayaan suatu logam di suatu perairan, serta menentukan apakah logam dalam sedimen berasal dari proses alami atau aktivitas antropogenik (Jahan & Strezov, 2018; Christophoridis et al., 2019). Indeks PERI pertama kali diperkenalkan oleh Hakanson (1980). Penentuan PERI bertujuan untuk mengetahui potensi risiko ekologis pencemaran logam berat dalam sedimen terhadap ekosistem pesisir (Guo et al., 2010; Jahan & Strezov, 2018).

Pollution Load Index (PLI)

Langkah pertama untuk menghitung nilai PLI adalah kita terlebih dahulu menghitung nilai CF (*contamination factor*) masing-masing logam. CF adalah rasio perbandingan antara konsentrasi suatu logam berat dalam sampel sedimen dan konsentrasi alaminya (*background concentration*) (Hakanson, 1980). Nilai CF menentukan apakah suatu perairan tercemar rendah, sedang, tinggi, atau sangat tercemar oleh suatu jenis logam (Syakti et al., 2015). Nilai CF dan PLI dihitung dengan rumus:

$$CF = \frac{M_c}{B_c}$$

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n)^{1/n}$$

M_c adalah konsentrasi suatu logam berat dalam sedimen, B_c adalah konsentrasi alami logam berat tersebut, dan n adalah jumlah logam berat dalam perhitungan.

Kita dapat menggunakan nilai rujukan konsentrasi rata-rata alami logam dalam sedimen yang umum dipakai (Tabel 2) apabila informasi terkait konsentrasi alami logam di suatu lokasi penelitian tidak diperoleh. Konsentrasi alami logam berat di suatu perairan dapat didefinisikan sebagai

nilai konsentrasi yang diperoleh sebelum kegiatan industri (*pre-industrial*) dilakukan dan mencemari perairan tersebut (Williams & Antoine, 2020). Beberapa peneliti (Jahan & Strezov, 2018; Christophoridis et al., 2019; Williams & Antoine, 2020) merekomendasikan nilai konsentrasi alami yang ditetapkan oleh (Turekian & Wedepohl, 1961).

Tabel 1. Kategori pencemaran logam berat suatu perairan berdasarkan nilai CF dan PLI (Syakti et al., 2015; Christophoridis et al., 2019).

| Nilai CF dan PLI | Kategori perairan |
|------------------|--|
| CF <1 | tercemar rendah oleh logam tertentu |
| 1 < CF < 3 | tercemar sedang oleh logam tertentu |
| 3 < CF < 6 | tercemar tinggi oleh logam tertentu |
| CF > 6 | sangat tercemar oleh logam tertentu |
| PLI < 1 | tidak tercemar oleh kombinasi beberapa logam |
| PLI > 1 | tercemar oleh kombinasi beberapa logam |

Tabel 2. Nilai konsentrasi alami logam menurut Turekian & Wedepohl (1961).

| Jenis logam berat | Konsentrasi alami (mg/kg) |
|-------------------|---------------------------|
| Kadmium (Cd) | 0,3 |
| Kromium (Cr) | 90 |
| Tembaga (Cu) | 39 |
| Besi (Fe) | 4,8 |
| Mangan (Mn) | 870 |
| Nikel (Ni) | 68 |
| Timbal (Pb) | 23 |
| Zink (Zn) | 120 |

Geo-accumulation Index (I_{geo})

Nilai I_{geo} dihitung dengan rumus:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{M_c}{1.5 \times B_c} \right)$$

M_c adalah konsentrasi suatu logam berat dalam sedimen dan B_c adalah konsentrasi alami logam berat tersebut. Faktor 1,5 adalah faktor koreksi untuk fluktuasi alami terkait efek litosferik (Syakti et al., 2015; Christophoridis et al., 2019; Liu et al., 2021).

Tabel 3. Kategori pencemaran logam berat suatu perairan berdasarkan nilai I_{geo} (Liu et al., 2021).

| Nilai I _{geo} | Tingkat pencemaran |
|--------------------------|---|
| I _{geo} ≤ 0 | tidak tercemar |
| 0 < I _{geo} ≤ 1 | tidak tercemar hingga tercemar sedang |
| 1 < I _{geo} ≤ 2 | tercemar sedang |
| 2 < I _{geo} ≤ 3 | tercemar sedang hingga tercemar berat |
| 3 < I _{geo} ≤ 4 | tercemar berat |
| 4 < I _{geo} ≤ 5 | tercemar berat hingga tercemar sangat berat |
| I _{geo} > 5 | tercemar sangat berat |

Enrichment Factor/EF

Secara umum, apabila nilai EF < 1 maka logam berat berasal dari proses alami, dan sebaliknya apabila nilai EF > 1 maka kontaminasi berasal dari kegiatan antropogenik (Jahan & Strezov, 2018).

Tabel 4. Kategori pengayaan logam berat suatu perairan berdasarkan nilai EF (Jahan & Strezov, 2018).

| Nilai EF | Tingkat pengayaan |
|--------------|-----------------------------|
| EF < 2 | pengayaan rendah |
| 2 < EF < 5 | pengayaan sedang |
| 5 < EF < 20 | pengayaan secara signifikan |
| 20 < EF < 40 | pengayaan berat |
| E > 40 | pengayaan sangat berat |

Metode EF membandingkan antara konsentrasi suatu logam dalam sedimen dan konsentrasi logam rujukan (misalnya Fe) dalam sedimen tersebut (Jahan & Strezov, 2018). Fe menjadi logam rujukan karena beberapa alasan antara lain; (1) Fe

berasosiasi dengan lapisan permukaan sedimen, (2) sifat geokimia Fe relatif sama dengan banyak logam, dan (3) konsentrasi alami Fe dalam sedimen cenderung seragam (Ghrefat et al., 2011; Syakti et al., 2015). Nilai EF dihitung dengan rumus:

$$EF = \frac{Mc_{sample} / Fe_{sample}}{Mc_{background} / Fe_{background}}$$

Mc_{sample} adalah konsentrasi suatu logam berat dalam sampel, Fe_{sample} adalah konsentrasi Fe dalam sampel, $Mc_{background}$ adalah konsentrasi alami suatu logam, dan $Fe_{background}$ adalah konsentrasi alami logam Fe.

Potential Ecological Risk Index (PERI)

PERI dihitung dengan rumus:

$$PERI = \sum E$$

E adalah nilai potensi risiko ekologis dari masing-masing logam berat. E dihitung dengan rumus:

$$E = T \times CF$$

T adalah faktor respon toksik masing-masing logam berat dan CF adalah *contamination factor* masing masing logam.

Tabel 5. Faktor respon toksik logam berat (Jahan & Strezov, 2018).

| Jenis logam berat | Faktor respon toksik logam berat (T) |
|-------------------|--------------------------------------|
| Cu | 5 |
| Pb | 5 |
| Zn | 1 |
| Mn | 1 |
| Cr | 2 |
| Cd | 30 |
| As | 10 |
| Ni | 6 |

Tabel 6. Kategori risiko ekologis logam berat suatu perairan berdasarkan nilai PERI (Jahan & Strezov, 2018).

| Nilai PERI | Tingkat risiko ekologis |
|--------------|------------------------------|
| PERI<150 | risiko ekologis ringan |
| 150≤PERI<300 | risiko ekologis sedang |
| 300≤PERI<600 | risiko ekologis buruk |
| PERI≥600 | risiko ekologis sangat buruk |

CONTOH PENENTUAN NILAI INDEKS PENCEMARAN SEDIMEN DI PERAIRAN SEGARA ANAKAN, CILACAP JAWA TENGAH

Contoh penentuan nilai indeks pencemaran logam berat dalam sedimen antara lain dilakukan oleh Syakti et al. (2015) di Segara Anakan. Segara Anakan merupakan laguna yang terletak di pesisir selatan Cilacap, Jawa Tengah. Kawasan ini dikelilingi ekosistem mangrove dengan banyak anak sungai (Gambar 1). Kawasan ini terancam oleh input sedimen yang tinggi dari daratan akibat deforestasi dan praktik pertanian yang tidak baik. Pencemaran organik dan logam berat juga terjadi dalam beberapa dekade akibat limbah industri, permukiman, aktivitas tambak, dan pemurnian minyak bumi. Limbah tersebut mengalir ke kawasan pesisir terutama melalui empat sungai yang bermuara di kawasan ini (Citanduy, Cibeureum, Sapuregel, dan Donan) (Dsikowitzky et al., 2011; Syakti et al., 2015).

Nilai CF tertinggi untuk seluruh logam ditemukan di lokasi pemurnian minyak bumi. Tingkat pencemaran Ti, Mn, dan Cr dalam sedimen dikategorikan tercemar sedang ($1 < CF < 3$), sedangkan tingkat pencemaran Fe, V, dan Zn dikategorikan tercemar sangat berat ($CF > 6$). Logam berat tersebut umumnya memang dijumpai dalam sedimen di lokasi



Gambar 1. Lokasi penelitian di Segara Anakan (modifikasi dari Syakti et al., 2015).

pemurnian minyak bumi atau yang terdampak pencemaran minyak bumi (Karbassi et al., 2005; Choudhury et al., 2021). Nilai rata-rata CF untuk lokasi sungai, laguna, dan laut menunjukkan kategori tercemar rendah hingga sedang. Pola yang mirip ini mengindikasikan bahwa kontaminasi logam berat dalam sedimen di laguna Segara Anakan berasal dari sungai. Nilai rata-rata PLI untuk lokasi sungai dan laguna adalah sebesar 0,8. Hal ini mengindikasikan sedimen di lokasi tersebut tidak tercemar oleh logam berat. Kondisi yang lebih baik ditunjukkan oleh nilai rata-rata PLI di lokasi laut (*Marine*/MR) yaitu sebesar 0,6. Hal ini menunjukkan bahwa sedimen di lokasi laut juga tidak terindikasi tercemar logam berat. Secara umum, sebagian besar lokasi di Segara Anakan (97% dari keseluruhan lokasi) berstatus tidak tercemar, dan hanya sebagian kecil lokasi (3% dari keseluruhan lokasi) terutama di lokasi pemurnian minyak bumi bernilai PLI sebesar 2,6. Hal ini mengindikasikan penelitian yang lebih detail dibutuhkan untuk pemantauan.

Nilai EF untuk Cr, Cu, Ni, dan Ti bernilai <1 . Hal ini mengindikasikan tidak adanya pengayaan unsur-unsur logam tersebut dalam sedimen, dan faktor antropogenik tidak berperan signifikan dalam pengayaan unsur-unsur tersebut. Sebaliknya, nilai EF untuk Mn, V, dan Zn bernilai antara 0,4 hingga 1,5. Hal ini mengindikasikan sedikit pengayaan unsur-unsur tersebut oleh aktivitas antropogenik.

Nilai Igeo menunjukkan bahwa Segara Anakan tidak tercemar oleh hampir semua logam berat (Nilai Igeo berkisar -2,5 hingga -0,1), tetapi tercemar sedang oleh V (Nilai Igeo berkisar 0,0 hingga 2,7). Sementara itu, Igeo untuk Cu, Ni, dan Ti pada lokasi sungai menunjukkan nilai <1 . Hal ini mengindikasikan lokasi tersebut dikategorikan tidak tercemar hingga tercemar sedang oleh unsur-unsur logam tersebut, dan dikategorikan tercemar sedang oleh Cr (Igeo=0.9) dan Mn (Igeo=0.8). Sebaliknya, lokasi pemurnian minyak bumi dikategorikan tercemar sedang hingga berat oleh Fe (Igeo=2.3), V (Igeo=2.7), dan Zn (Igeo=2.1).

Tabel 7. Nilai CF, PLI, EF, Igeo, dan PERI logam berat dalam sedimen permukaan di pesisir Segara Anakan, Cilacap, Jawa Tengah (Syakti et al., 2015).

| | Stasiun | Logam Berat | | | | | | | | PLI | PERI | Status |
|------|---------|-------------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|------|------------------------------|
| | | Cr | Cu | Fe | Mn | Ni | Ti | V | Zn | | | |
| CF | R | 0.4 | 0.9 | 1.1 | 1.1 | 0.3 | 0.4 | 1.6 | 1.5 | 0.8 | - | Tidak tercemar |
| | RS | 2.8 | 0.7 | 7.5 | 2.7 | 0.7 | 1.2 | 9.5 | 6.3 | 2.6 | - | tercemar |
| | SA | 0.4 | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 0.3 | 0.4 | 1.7 | 1.5 | 0.8 | - | Tidak tercemar |
| | MR | 0.3 | 0.4 | 0.9 | 1.1 | 0.2 | 0.5 | 1.6 | 1.1 | 0.6 | - | Tidak tercemar |
| EF | R | 0.4 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 0.3 | 0.3 | 1.5 | 1.4 | - | - | Pengayaan oleh Mn, V, dan Zn |
| | RS | 0.4 | 0.1 | 1.0 | 0.4 | 0.1 | 0.2 | 1.3 | 0.8 | - | - | Pengayaan oleh V |
| | SA | 0.4 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 0.2 | 0.3 | 1.5 | 1.3 | - | - | Pengayaan oleh Mn, V, dan Zn |
| | MR | 0.4 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 0.3 | 0.3 | 1.5 | 1.4 | - | - | Pengayaan oleh Mn, V, dan Zn |
| Igeo | R | -1.8 | -0.8 | -0.5 | -0.6 | -2.4 | -2.1 | 0.1 | 0.0 | - | - | Tercemar ringan oleh V |
| | RS | 0.9 | -1.0 | 2.3 | 0.8 | -1.1 | -0.3 | 2.7 | 2.1 | - | - | Tercemar berat oleh Fe dan V |
| | SA | -1.9 | -0.9 | -0.4 | -0.3 | -2.5 | -2.0 | 0.2 | -0.1 | - | - | Tercemar ringan oleh V |
| | MR | -2.5 | -2.1 | -0.9 | -0.5 | -3.0 | -1.7 | 0.0 | -0.6 | - | - | Tidak tercemar |
| PERI | R | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.7 | Risiko ekologis Ringan |
| | RS | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 22.3 | Risiko ekologis Ringan |
| | SA | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 9.9 | Risiko ekologis Ringan |
| | MR | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 6 | Risiko ekologis Ringan |

Keterangan: R (*River*) = sungai, RS (*Refinery Site*) = lokasi pemurnian minyak bumi, SA (Segara Anakan) = laguna, MR (*Marine*) = stasiun laut.

Nilai PERI menunjukkan keseluruhan lokasi penelitian di Segara Anakan berkategori memiliki risiko ekologis ringan. Urutan risiko ekologis masing-masing lokasi secara berurutan adalah MR<R<SA<RS. Lokasi pemurnian minyak (RS) memiliki nilai PERI yang lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya. Hal ini mengindikasikan limbah dari pemurnian minyak berpotensi menimbulkan risiko ekologis meskipun dalam tingkat rendah. Penelitian yang lebih detail dibutuhkan untuk memantau lokasi tersebut.

PENUTUP

Indeks pencemaran sangat berguna untuk mengolah, menganalisis, dan mengartikan data lingkungan yang masih ‘mentah’ menjadi informasi yang mudah

dipahami. Indeks CF berguna untuk mengetahui status pencemaran suatu jenis logam, sedangkan indeks PLI dengan memperhitungkan nilai CF masing-masing logam berguna untuk mengetahui status pencemaran yang disebabkan oleh kombinasi logam berat dalam sedimen di suatu perairan. Indeks Igeo menentukan tingkat pencemaran dengan memperhitungkan efek variasi lapisan bumi (litosfer), sedangkan indeks EF menentukan tingkat pengayaan logam berat dan menentukan apakah pengayaan tersebut bersifat alami atau berasal dari kegiatan manusia (antropogenik). Terakhir, indeks PERI menentukan risiko ekologis yang dapat ditimbulkan oleh pencemaran beberapa logam dengan memperhitungkan respon toksik masing-masing logam.

DAFTAR PUSTAKA

- Burton, G. A. (2002). Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology*, 3: 65–75.
- Caeiro, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., ... & Painho, M. (2005). Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach. *Ecological Indicators*, 5(2): 151–169. doi:10.1016/j.ecolind.2005.02.001.
- Choudhury, T. R., Acter, T., Uddin, N., Kamal, M., Chowdhury, A. M. S., & Rahman, M. S., (2021). Heavy metals contamination of river water and sediments in the mangrove forest ecosystems in Bangladesh: A consequence of oil spill incident. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 16: 100484. doi:10.1016/j.enmm.2021.100484.
- Christophoridis, C., Bourliva, A., Evgenakis, E., Papadopoulou, L., & Fytianos, K. (2019). Effects of anthropogenic activities on the levels of heavy metals in marine surface sediments of the Thessaloniki Bay, Northern Greece: Spatial distribution, sources and contamination assessment. *Microchemical Journal*, 149: 104001. doi:10.1016/j.microc.2019.104001.
- Dsikowitzky, L., Nordhaus, I., Jennerjahn, T. C., Khrycheva, P., Sivatharshan, Y., ... & Schwarzbauer, J. (2011). Anthropogenic organic contaminants in water, sediments and benthic organisms of the mangrove-fringed Segara Anakan Lagoon, Java, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 62(4): 851–862. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.02.023.
- Ghrefat, H. A., Abu-Rukah, Y., Rosen, & M. A. (2011). Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Kafra Dam, Jordan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 178(1–4): 95–109. doi:10.1007/s10661-010-1675-1.
- Gu, Y. G. & Gao, Y. P. (2019). An unconstrained ordination- and GIS-based approach for identifying anthropogenic sources of heavy metal pollution in marine sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 146: 100–105. doi:10.1016/j.marpolbul.2019.06.008.
- Guo, W., Liu, X., Liu, Z., & Li, G. (2010). Pollution and potential ecological risk evaluation of heavy metals in the sediments around Dongjiang Harbor, Tianjin. *Procedia Environmental Sciences*, 2(5): 729–736. doi:10.1016/j.proenv.2010.10.084.
- Hakanson, L. (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8): 975–1001. doi:10.1016/0043-1354(80)90143-8.
- Jahan, S. & Strezov, V. (2018). Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metals in the sediments of seaports of NSW, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 128: 295–306. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.01.036.
- Karbassi, A. R., Nabi-Bidhendi, G. R., & Bayati, I. (2005). Environmental geochemistry of heavy metals in a sediment core off Bushehr, Persian Gulf. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 2(4): 255–260.
- Liu, B., Xu, M., Wang, J., Wang, Z., & Zhao, L. (2021). Ecological risk assessment and heavy metal contamination in the surface sediments of Haizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 163: 111954. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111954.
- Luoma, S. N. & Rainbow, P. S. (2008). Trace metals in suspended particulates and sediments: concentrations and geochemistry. *In: Metal Contamination in Aquatic Environments: Science and Lateral Management*. Ed ke-1st Cambridge: Cambridge

- University Press. pp. 93–125.
- Müller, G. (1979). Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins – Veränderungen seit. *Umschau*. 79: 778–783.
- Syakti, A. D., Demelas, C., Hidayati, N. V., Rakasiwi, G., Vassalo, L., ... & Doumenq, P. (2015). Heavy metal concentrations in natural and human-impacted sediments of Segara Anakan Lagoon, Indonesia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(1). doi:10.1007/s10661-014-4079-9.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., & Jeffrey, D. W. (1980). Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgol Wiss Meeresunters*. 33: 566–575.
- Turekian, K. K. & Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72: 175–192. doi:10.1130/0016-7606(1961)72.
- Williams, J. A. & Antoine, J. (2020). Evaluation of the elemental pollution status of Jamaican surface sediments using enrichment factor, geoaccumulation index, ecological risk and potential ecological risk index. *Marine Pollution Bulletin*, 157:111288. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111288.
- Yang, Y., Chen, F., Zhang, L., Liu, J., Wu, S., & Kang, M. (2012). Comprehensive assessment of heavy metal contamination in sediment of the Pearl River Estuary and adjacent shelf. *Marine Pollution Bulletin*, 64(9):1947–1955. doi:10.1016/j.marpolbul.2012.04.024.