

Evaluasi Kesesuaian Kualitas Air Limbah terhadap Baku Mutu di Pertambangan

Evaluation of Wastewater Quality Compliance with Standards at Mining

Galea Lionel¹⁾, Nurvita Cundaningsih²⁾*

^{1, 2)} Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

Abstrak

Proses penambangan nikel dapat melepaskan limbah cair ke laut, yang dapat mencemari air dengan logam berat dan partikel terdispersi. Menemukan apakah saluran drainase di kawasan pertambangan PT X di Kabupaten Konawe Utara memenuhi standar mutu air limbah merupakan tujuan utama penelitian ini. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif, berdasarkan data utama yang ditemukan dalam hasil uji laboratorium pada sampel air limbah yang diperoleh dengan pengambilan sampel acak. Beberapa parameter diuji, termasuk pH, TSS, DO, dan keberadaan logam berat seperti Hg, Cd, Pb, dan Ni. Selanjutnya, hasilnya dibandingkan dengan standar mutu yang diuraikan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021. Berdasarkan hasil tersebut, sebagian besar parameter dianggap berkualitas baik, termasuk pH 7,0, DO 6,2 mg/L, dan konsentrasi logam berat di bawah ambang batas. Standar mutu yang ditetapkan adalah 30 mg/L, namun parameter TSS adalah 34,6 mg/L, yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun bagian kimiawi dari pengolahan limbah berjalan dengan baik, pengendalian partikel tersuspensi belum optimal. Dengan demikian, kualitas air limbah secara umum telah memenuhi baku mutu, tetapi masih berpotensi menimbulkan dampak lingkungan melalui peningkatan kekeruhan dan sedimentasi di perairan penerima.

Kata kunci: Air limbah; Baku mutu; Kualitas air; Logam berat; Pertambangan nikel

Abstract

Nickel mining activities have the potential to generate wastewater containing suspended solids and heavy metals that may pollute marine environments. The purpose of this research was to assess if the wastewater quality from the discharge channel in the mining region of PT X, North Konawe Regency, complied with the set quality criteria. Using primary data from laboratory examination of wastewater samples acquired by grab sampling, a descriptive quantitative technique was used. pH, Total Suspended Solids (TSS), Dissolved Oxygen (DO), and heavy metals (Hg, Cd, Pb, and Ni) were among the parameters examined. The results were then compared to the quality criteria based on Government Regulation No. 22 of 2021. With pH at 7.0, DO at 6.2 mg/L, and heavy metal concentrations within allowable limits, the findings demonstrated that the majority of parameters satisfied the quality criteria. However, the TSS parameter (34.6 mg/L) exceeded the standard limit of 30 mg/L. These findings indicate that wastewater management in terms of chemical parameters has been relatively effective, although suspended solids control remains suboptimal. In conclusion, the overall wastewater quality complies with the standards, but it still poses potential environmental risks through increased turbidity and sedimentation in the receiving waters.

Keywords: Heavy metals, Nickel mining, Wastewater, Water quality

1. Pendahuluan

Nikel merupakan logam strategis yang banyak digunakan dalam pembuatan baterai litium-ion untuk kendaraan Listrik¹. Indonesia sebagai salah satu produsen nikel utama dunia turut mengalami peningkatan aktivitas pertambangan. Salah satu wilayah yang memiliki potensi dan aktivitas pertambangan nikel adalah Konawe Utara, yang menjadi lokasi dalam penelitian ini. Meskipun demikian, proses ini menghasilkan limbah cair yang dibuang ke laut dan mengandung logam berat termasuk nikel, timbal, dan kadmium². Sampah ini dapat membahayakan habitat pesisir dan mencemari perairan laut³. Tailing adalah salah satu jenis sampah yang dihasilkan dari aktivitas ini. Tailing merupakan bentuk polutan yang, jika tidak ditangani dengan benar, dapat membahayakan ekosistem⁴. Partikel tersuspensi (TSS) tinggi dari limbah menurunkan kecerahan air dan mengurangi penetrasi cahaya ke dasar. Kondisi ini merusak habitat terumbu karang dan berpotensi mengganggu ekosistem terumbu³. Selain itu, logam berat dalam limbah sulit terurai dan cenderung mengendap di sedimen laut, lalu terakumulasi dalam rantai makanan. Telah terbukti bahwa paparan logam berat berlebih dapat mengancam kesehatan biota laut melalui efek toksik, bioakumulasi, dan biomagnifikasi^{5,6}.

Potensi nikel di Konawe Utara sangat tinggi, sehingga aktivitas tambangnya memberi dampak pencemaran pesisir. Di Konawe Utara, sedimen pesisir dari Tapuemea dan Tapungaya memiliki nilai nikel (Ni) antara 3,92 dan 34,08 mg/kg, menempatkannya dalam kategori sangat tercemar menurut kriteria US EPA⁷. Menurut studi toksisitas, spesies laut dapat mengalami efek kronis (EC₁₀) ketika terpapar nilai nikel (Ni) berkisar antara 0,006-0,03 mg/L. Konsentrasi Ni terus berada di bawah kriteria kualitas yang ditetapkan dalam PP No. 22 tahun 2021⁸. Namun, penelitian lain menunjukkan bahwa konsentrasi Ni dapat bervariasi dari 0,003-0,017 mg/L, yang dapat memenuhi atau melebihi kriteria kualitas 0,05 mg/L yang ditetapkan oleh Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004⁹. ederhananya, meskipun Ni sangat diperlukan, biota dapat mengalami stres dan bahkan kerusakan ketika terpapar konsentrasi di atas puluhan µg/L. Oleh karena itu, untuk memastikan potensi beban polusi, sangat penting untuk memantau kualitas air limbah sebelum masuk ke badan air penerima di lokasi pembuangan⁸.

Lokasi pengukuran berada pada saluran pembuangan sebelum memasuki badan air penerima (laut). Kegiatan operasional pada lokasi penelitian terbatas pada aktivitas pertambangan tanpa proses pengolahan lanjutan, sehingga pengelolaan limbah cair dilakukan melalui unit *sediment pond*. Pengambilan sampel air limbah dilakukan pada titik outlet sebelum masuk ke badan air penerima, sehingga kualitas air limbah pada titik tersebut belum tercampur dengan air penerima dan masih mencerminkan karakteristik aliran limbah sebelum pengenceran¹⁰. Sebelum membuang air limbah ke badan air penerima, air limbah tersebut harus dipantau untuk memastikan memenuhi persyaratan nasional tentang standar kualitas¹¹. Untuk menentukan kemungkinan jumlah polutan yang akan mencapai perairan laut, penting untuk mengevaluasi kualitas air di jalur pembuangan ini.

Logam berat Pb, Cd, dan Ni, serta suhu, pH, DO, dan salinitas, termasuk di antara karakteristik kualitas air yang diukur. TSS tinggi menunjukkan kekeruhan air, biasanya akibat sedimentasi dari lahan tambang². Penelitian sebelumnya melaporkan nilai TSS sekitar 38,95 mg/L di dekat lokasi tambang Konawe Utara, hampir dua kali lipat ambang batas³. Akibat TSS tinggi, cahaya sulit menembus perairan sehingga mengganggu terumbu karang dan plankton fotosintetik². Derajat keasaman (pH) limbah tambang umumnya asam, sehingga pencampuran dengan air laut dapat menurunkan pH lokal. Suhu dan salinitas relatif stabil, namun dapat berfluktuasi di area pembuangan limbah. Konsentrasi oksigen terlarut (DO) merupakan indikator kesehatan ekosistem perairan; nilai sekitar <3 mg/L dapat menurunkan pertumbuhan dan kelangsungan hidup organisme akuatik tertentu¹².

Logam berat diukur untuk menilai pencemaran jangka panjang. Logam seperti Ni, Pb, Cd, Zn, dan Cu mudah terakumulasi dalam organisme laut⁶. Hasil uji dibandingkan dengan baku mutu nasional (PP 22 Tahun 2021), dengan batas Ni sekitar 0,075 mg/L, Pb sekitar 0,05 mg/L, dan Cd sekitar 0,01 mg/L. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa logam berat tertentu sering melebihi ambang batas di perairan tambang¹³. Meskipun pH air dapat berubah setelah memasuki badan air penerima (laut) akibat proses alami, peningkatan TSS dan logam berat di saluran pembuangan dapat menyebabkan pencemaran yang signifikan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kesesuaian kualitas air limbah di saluran pembuangan limbah PT X di Konawe Utara terhadap baku mutu air limbah. Fokus pada saluran pembuangan penting karena area ini mencerminkan kondisi akhir sebelum kontaminan tersebar ke perairan lebih luas. Studi sebelumnya di pesisir Sulawesi Tenggara menunjukkan dampak tambang nikel berupa peningkatan TSS dan kerusakan terumbu². Namun, kajian yang membandingkan parameter

kualitas air secara langsung dengan baku mutu di saluran pembuangan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat mengisi kesenjangan tersebut dengan menggunakan data lapangan terkini.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan desain penelitian deskriptif berbasis data primer untuk mengevaluasi kesesuaian kualitas air limbah pada saluran pembuangan di area pertambangan PT X, Kabupaten Konawe Utara. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2025 dengan menggunakan data hasil uji laboratorium yang diperoleh dari pihak ketiga yang telah terakreditasi.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh air limbah yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan PT X, sedangkan sampel yang dianalisis berupa air limbah yang diambil dari saluran pembuangan sebelum dialirkan ke badan air penerima berupa perairan laut. Pengelolaan limbah cair pada kegiatan pertambangan umumnya dilakukan menggunakan sediment pond, yaitu kolam pengendapan yang berfungsi untuk menurunkan kadar padatan tersuspensi melalui proses sedimentasi sebelum air dialirkan ke badan air penerima¹⁴. Pengambilan sampel dilakukan menggunakan metode *grab sampling*¹⁵ pada tanggal 18 Juni 2025 pukul 13.43 WITA pada 5 titik outlet (effluent) *sediment pond*, seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Sampel air limbah diambil menggunakan wadah botol sampel yang mengacu pada SNI 6989-59:2008¹⁶ yang mengatur prosedur pengambilan contoh air limbah. Langkah selanjutnya adalah mengawetkan sampel sesuai dengan protokol yang diuraikan dalam Prosedur Standar APHA untuk Pemeriksaan Air dan Air Limbah¹⁷. Pihak ketiga bersertifikat melakukan analisis laboratorium dan pengambilan sampel lapangan langsung untuk mendapatkan data.

Penelitian ini terutama memeriksa pH, Total Padatan Tersuspensi (TSS), Oksigen Terlarut (DO), dan logam berat Hg, Cd, Pb, dan Ni, yang dianggap sebagai ciri paling menonjol dari limbah pertambangan, di antara parameter lain yang tercakup dalam data laboratorium. Studi parameter dilakukan mengikuti pedoman yang ditetapkan oleh Asosiasi Kesehatan Masyarakat Amerika (APHA) untuk pemeriksaan air dan air limbah.¹⁸

Setelah itu, hasil uji dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai parameter dengan kriteria kualitas air limbah yang diuraikan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021¹⁹. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk menentukan tingkat kesesuaian kualitas air limbah di lokasi penelitian serta sebagai dasar dalam mengindikasikan potensi dampaknya terhadap lingkungan perairan laut sebagai badan penerima.



Gambar 1. Pengambilan sampel dengan metode *grab sampling*

3. Hasil dan Pembahasan

Sebagian besar metrik tetap berada di bawah batas kualitas yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, kecuali parameter Total Suspended Solids (TSS), yang melebihi batas. pH 7,0 ditetapkan berada dalam kisaran netral dan cukup untuk memenuhi kriteria kualitas, menurut penelitian tersebut. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses pengolahan limbah atau karakteristik geokimia di lokasi tambang tidak menghasilkan air asam tambang yang signifikan. Secara umum, air limbah pertambangan yang telah mengalami proses pengendapan atau netralisasi cenderung memiliki pH mendekati netral, terutama jika telah terjadi pencampuran dengan material basa di lingkungan tambang.

Nilai Dissolved Oxygen (DO) sebesar 6,2 mg/L juga menunjukkan kondisi yang masih baik bagi kehidupan organisme akuatik, karena konsentrasi DO di atas 5 mg/L umumnya mendukung aktivitas

biologis di perairan ²⁰. Konsentrasi DO di atas 5 mg/L umumnya dianggap cukup untuk mendukung aktivitas biologis di perairan. Tingginya nilai DO pada lokasi penelitian dapat dipengaruhi oleh kondisi aliran air yang relatif terbuka serta adanya proses aerasi alami pada saluran pembuangan sebelum mencapai laut.

Meskipun demikian, pengukuran Total Suspended Solids (TSS) melampaui pedoman kualitas 30 mg/L, yaitu sebesar 34,6 mg/L. Tingginya nilai Total Suspended Solids (TSS) ini disebabkan oleh keterbatasan sistem pengolahan limbah yang hanya menggunakan sediment pond. Pengolahan ini bersifat fisik melalui proses sedimentasi, sehingga hanya efektif mengendapkan partikel berukuran besar, sedangkan partikel halus masih dapat lolos ke aliran *effluent*. Ini mengindikasikan adanya partikel tersuspensi yang berasal dari aktivitas pertambangan, seperti erosi tanah, limpasan material overburden, serta tailing yang belum sepenuhnya mengendap. Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa lokasi penambangan nikel secara signifikan meningkatkan total padatan tersuspensi (TSS) di perairan sekitar lokasi tersebut karena partikel kecil yang mereka bawa ke dalam air. Kondisi ini sejalan dengan temuan tersebut.

Tingginya TSS dapat berdampak negatif terhadap lingkungan perairan, karena konsentrasi TSS yang tinggi diketahui meningkatkan risiko terhadap kehidupan akuatik dan dapat menyebabkan kerusakan ekologis ²¹. Selain itu, kejernihan air dan penetrasi cahaya mungkin berkurang akibat TSS yang berlebihan. Makhluk laut seperti fitoplankton dan terumbu karang membutuhkan cahaya untuk menjalankan proses fotosintesis mereka, yang dapat terhambat oleh hal ini. Selain itu, logam berat dapat terikat pada partikel tersuspensi, yang meningkatkan kemungkinan penumpukan polusi di sedimen.

Tabel 1 menunjukkan nilai parameter kualitas air yang diperoleh dari uji laboratorium yang dilakukan pada sampel air limbah yang berada di saluran drainase sebelum memasuki badan air penerima.

Tabel 1. Hasil Uji Kualitas Air Limbah

Parameter	Hasil	Baku Mutu*	Keterangan
pH	7,0	7,0–8,5	Memenuhi
TSS (mg/L)	34,6	30	Tidak memenuhi
DO (mg/L)	6,2	>5	Memenuhi
Hg (mg/L)	<0,0005	0,001	Memenuhi
Cd (mg/L)	<0,0008	0,01	Memenuhi
Pb (mg/L)	<0,005	0,05	Memenuhi
Ni (mg/L)	<0,015	0,05	Memenuhi

Sumber: Data Primer, diolah (2025)

Keterangan:

(*): PP No. 22 Tahun 2021

Setiap hasil uji untuk parameter logam berat, termasuk Hg, Cd, Pb, dan Ni, menunjukkan jumlah yang berada di bawah standar kualitas atau pada batas deteksi. Ini menunjukkan bahwa kontribusi logam berat terhadap air limbah minimal ketika sampel diambil. Beberapa mekanisme, termasuk sedimentasi alami di kolam pengendapan dan adsorpsi logam pada partikel padat yang mengendap ke dalam sedimen, mungkin menjelaskan jumlah logam berat yang rendah ini²², selain itu juga dapat dipengaruhi oleh pengenceran air hujan atau aliran lain di lokasi tambang.

Meskipun demikian, logam berat tetap perlu menjadi perhatian karena bersifat akumulatif dan tidak mudah terurai di lingkungan. Bioakumulasi dan biomagnifikasi memungkinkan logam berat menumpuk di biota laut dan sedimen seiring waktu, yang dapat berdampak negatif pada ekosistem dan kesehatan manusia.

Secara keseluruhan, kualitas air limbah pada saluran pembuangan sebelum memasuki badan air penerima menunjukkan kondisi yang relatif baik untuk sebagian besar parameter, namun masih terdapat potensi pencemaran terutama dari parameter TSS. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengelolaan yang lebih optimal, khususnya dalam pengendalian sedimen, seperti peningkatan efektivitas kolam pengendapan (*sediment pond*) atau penerapan sistem filtrasi tambahan sebelum air limbah dibuang ke lingkungan.

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian, kualitas air limbah pada saluran pembuangan di area pertambangan PT X Kabupaten Konawe Utara secara umum telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan, khususnya pada parameter pH, DO, serta logam berat Hg, Cd, Pb, dan Ni yang berada di bawah ambang batas. Namun, parameter Total Suspended Solids (TSS) masih melebihi baku mutu, yang mengindikasikan adanya kontribusi partikel tersuspensi dari aktivitas pertambangan yang belum terkelola secara optimal. Kondisi ini berkaitan dengan penggunaan sediment pond sebagai unit pengolahan yang hanya mengandalkan proses fisik, sehingga kurang efektif dalam menurunkan padatan tersuspensi, terutama partikel halus. Meskipun risiko pencemaran logam berat relatif rendah pada saat pengukuran, peningkatan TSS tetap berpotensi menimbulkan dampak lingkungan berupa kekeruhan dan sedimentasi yang dapat mempengaruhi kualitas perairan laut sebagai badan penerima.

Berdasarkan temuan tersebut, diperlukan upaya peningkatan efektivitas pengolahan limbah, khususnya dalam pengendalian parameter TSS melalui optimalisasi kinerja kolam pengendapan (*sediment pond*) atau penambahan unit pengolahan lanjutan, seperti filtrasi, sebelum air limbah dibuang ke lingkungan. Selain itu, pemantauan kualitas air limbah secara berkala perlu dilakukan untuk memastikan konsistensi pemenuhan baku mutu, terutama terhadap parameter logam berat yang bersifat akumulatif. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji distribusi pencemar pada badan air penerima serta dampaknya terhadap biota perairan guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai risiko lingkungan jangka panjang.

5. Daftar Pustaka

1. Yao P, Zhang X, Wang Z, Long L, Han Y, Sun Z, et al. The role of nickel recycling from nickel-bearing batteries on alleviating demand-supply gap in China's industry of new energy vehicles. *Resour Conserv Recycl*. 2021 Jul 1;170:1–7. doi:10.1016/j.resconrec.2021.105612
2. Deniyatno, Armid. Status Kawasan Laut Akibat Aktivitas Pertambangan Nikel di Kecamatan Lasolo Kepulauan, Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Geologi Terapan*. 2022;04(02):123–33.
3. Sangadji NS, Malau AG. Analisis Dampak Pertambangan Nikel PT X di Pulau GAG : Resiko Lingkungan dan Peluang Ekonomi. *Journal Publicuho*. 2025 Aug 9;8(3):1309–22. doi:10.35817/publicuho.v8i3.811
4. Rachmawati A, Sugiarto DW. Tinjauan Sistematis: Efek Kontaminasi dari Tailing Pertambangan terhadap Kesehatan Masyarakat. *Buletin Keslingmas*. 2023 Mar 31;42(1):40–51. doi:10.31983/keslingmas.v42i1.9607
5. El-Sharkawy M, Alotaibi MO, Li J, Du D, Mahmoud E. Heavy Metal Pollution in Coastal Environments: Ecological Implications and Management Strategies: A Review. *Sustainability (Switzerland)*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025. doi:10.3390/su17020701
6. Ikhsani IY, Harmesa H, Budiyo F, Thoha H, Fitriya N, Kaisupy MT, et al. Heavy metals contamination in Jakarta Bay sediment: geoaccumulation assessment and implication for environmental health. *Mar Pollut Bull*. 2025 Jul 1;216. doi:10.1016/j.marpollbul.2025.117983 PubMed PMID: 40267793.
7. Mohammad Afdhal Adidharma, Takarina Dian Noverita, Supriatna, Emiyarti, Pratikino Ginong A. Sebaran Dan Kontaminasi Logam Berat Nikel (Ni) pada Sedimen di Pesisir Desa Tapuemea dan Tapunggaya, Kabupaten Konawe Utara. 2023.
8. Gissi F, Wang Z, Batley GE, Leung KMY, Schlekat CE, Garman ER, et al. Deriving a Chronic Guideline Value for Nickel in Tropical and Temperate Marine Waters. *Environ Toxicol Chem*. 2020 Dec 1;39(12):2540–51. doi:10.1002/etc.4880 PubMed PMID: 32955772.
9. Adidharma Afdhal Mohammad, Emiyarti, Pratikino Ginong A. Sebaran Logam Berat Nikel (Ni) dalam Air di Perairan Kecamatan Molawe Kabupaten Konawe Utara. *Jurnal Sapa Laut*. 2021;6(4):273–80.
10. Pitayati PA, Napoleon A, Dahlan MH. Analisis Kualitas Air Sungai dan Air Limbah (Outlet) Perusahaan dengan Metode Indeks Pencemaran dan Pengaruhnya terhadap Populasi dan Jenis Ikan. *Jurnal Penelitian Sains*. 2017.

11. Cavaliere G, Tari L, Siconolfi F, Rehman H, Kuzhir P, Maffucci A, et al. A Novel ML-Powered Nanomembrane Sensor for Smart Monitoring of Pollutants in Industrial Wastewater. *Sensors*. 2025 Sep 1;25(17). doi:10.3390/s25175390 PubMed PMID: 40942817.
12. Zhao C, Li J, Xu S, Wu Y, Xie C, Han H, et al. Dissolved oxygen tolerance of *Hippocampus abdominalis* across varying temperature regimes . *Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh*. 2025 Nov 17;77(4):220–7. doi:10.46989/001c.147349
13. Gunarto Edy, Mokodompit Agus Eliyanti. Dampak Pencemaran Limbah Tambang Nikel Terhadap Kehidupan Masyarakat Pesisir. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*. 2024;4(4):269–74.
14. Zapico I, Laronne JB, Meixide C, Sánchez Castillo L, Martín Duque JF. Evaluation of sedimentation pond performance for a cleaner water production from an open pit mine at the edge of the Alto Tajo Natural Park. *J Clean Prod*. 2021 Jan 20;280:1–13. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124408
15. Ramandei L. Integrated Environmental Management for Nickel Mining Communities in Papua. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*. 2025 Sep 30;9(2):125–32. doi:10.23969/jcbeem.v9i2.32341
16. Badan Standarisasi Nasional. SNI 6989-59:2008 Air dan air limbah – Bagian 59: Metoda pengambilan contoh air limbah. 2008.
17. Udianto Fauzi, Kriswandana Ferry, Rachmaniyah. Pemetaan Kualitas Air Sungai di Kawasan Industri Ngingas Sidoarjo Dijinjau dari Parameter BOD Dan TSS Tahun 2021. *Jurnal Higiene Sanitasi*. 2022;2(1):31–5.
18. American Public Health Association (APHA) AW. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23rd ed. 2017.
19. Pemerintah Republik Indonesia. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. 2021.
20. Aldia D, Supratman O, Muftiadi MR. The Macrozoobenthos Community Structure on Artificial Reef at Penyusuk Marine, Bangka Regency. *Coastal and Marine Journal*. 2024 Jun 4;2(1):13–23. doi:10.61548/cmj.v2i1.13
21. Nurgiantoro, Muhamad Jaelani L. Monitoring of Total Suspended Solid in Coastal Waters due to Conventional Gold Mining Using Multi Temporal Satellite Data, Case Study: Bombana, Southeast Sulawesi. Postgraduate Program Institut Teknologi Sepuluh Nopember [Internet]. 2016. Available from: <http://6s.ltdri.org/>
22. Fiedler M. Long-Term Changes in the Pollution of Warta River Bottom Sediments with Heavy Metals, Poland—Case Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 May 1;20(10):1–22. doi:10.3390/ijerph20105869 PubMed PMID: 37239595.