

Analisis Pencemaran Logam Kromium Heksavalen di Daerah Sungai pada Pertambangan Nikel

Muhammad Hendrawan Suharjo¹, Rika Ernawati², Nurkhamim³
^{1,2,3} Prodi Magister Teknik Pertambangan UPN
email: m.hendrawansuharjo@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis pencemaran kromium heksavalen pada aliran sungai dan sedimen sungai yang terpengaruh aktivitas pertambangan. Metode pada penelitian ini dalam mengambil sampel aliran sungai, sedimen sungai, *settling pond*, lapisan saprolit dan limonit dengan metode *purposive sampling* dengan total 97 sampel. Pengujian kadar konsentrasi logam kromium heksavalen menggunakan uji AAS (*Atomic Adsorption Spectrophotometer*). Analisis penyebaran kromium heksavalen dengan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*) dengan bantuan *software* ArcGIS 10.4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Tingkat kandungan Cr^{6+} pada aliran sungai di lokasi penelitian didapatkan hasil pengujian dengan nilai diatas baku mutu ini disebabkan karena adanya proses pemekatan. Sedangkan untuk sedimen sungai kandungan Cr^{6+} memiliki hasil pengujian diatas baku mutu karena adanya proses pengendapan yang telah terjadi cukup lama.

Kata kunci: Nikel, Kromium Hexavalen, Pencemaran,

Abstract

This study aims to analyze the contamination of hexavalent chromium in river flows and river sediments affected by mining activities. The method in this research is to take samples of river flow, river sediment, settling pond, saprolite and limonite layers by purposive sampling method with a total of 97 samples. Testing the concentration of hexavalent chromium metal using the AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer) test. Analysis of the distribution of hexavalent chromium using the IDW (Inverse Distance Weighted) method with the help of ArcGIS 10.4 software. The results of the study showed that the level of Cr^{6+} content in the river flow at the research location obtained test results with values above the quality standard due to the concentration process. As for river sediments containing Cr^{6+} , the test results are above the quality standard due to the deposition process that has occurred for quite a long time

Keywords: Nickel, Chromium Hexavalen, Pollution

PENDAHULUAN

Daerah di Indonesia dimana banyak terdapat komoditas nikel adalah Provinsi Sulawesi Tenggara, dengan potensi cadangan sebesar 97,4 miliar ton yang tersebar pada lahan seluas 480 ribu hektar. Potensi tersebut menyebabkan jumlah perusahaan di Sulawesi Tenggara tumbuh pesat khususnya dalam beberapa tahun terakhir. (ESDM, 2018; Okto et al., 2019; Lintjewas, Setiawan, & Al, 2019)

Pada pertambangan nikel yang merupakan daerah ultrabasa terdapat lapisan batuan yang mengandung mineral serta logam berat yang apabila terlepas dapat mencemari lingkungan sekitar salah satunya adalah *chromium*. Salah satu bentuk lain dari *chromium* yang dapat hadir di lingkungan adalah kromium heksavalen (Cr^{6+}). kromium heksavalen yang hadir di lingkungan sangat berbahaya dimana dapat menyebabkan bahaya bagi organisme hidup seperti mempengaruhi organ vital ikan air tawar, menyebabkan efek genotoksik toksik dan spesifik jaringan terhadap ikan menyengat air tawar, dan mempengaruhi fungsi testis

tikus jantan dewasa atau fotosintesis pada tumbuhan dan juga dapat menyebabkan karsinogenik bagi tubuh manusia.

Kerusakan yang cukup signifikan berdampak terhadap air dan sedimen, dimana air mengalami penurunan kualitas air. Sedangkan untuk sedimen, partikel tersuspensi dapat dengan cepat mencapai sungai dan muara sungai. Sedimen penambangan kemudian dapat menjadi sumber kromium terbawa dan terlepas di perairan sungai (Gunkel-Grillon et al., 2014). Permasalahan sekarang adalah bagaimana tingkat kandungan kromium heksavalen pada aliran sungai dan sedimen sungai yang terpengaruh aktivitas pertambangan. Penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat kandungan kromium heksavalen pada aliran sungai dan sedimen sungai yang terpengaruh aktivitas pertambangan. Penelitian tentang kandungan kromium heksavalen telah banyak dilakukan pada daerah pertambangan nikel namun belum ada yang melakukan analisis tingkat kandungan kontaminan kromium heksavalen pada daerah pertambangan nikel aktif di Kecamatan Langgikima Kabupaten Konawe Utara. Oleh karena itu penelitian merupakan penelitian yang sangat strategis dalam rangka mengetahui penyebaran kromium heksavalen di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan lapangan yang akan digunakan dalam penelitian ialah pH meter, Sekop kecil, Botol sampel *polietilen* digunakan sebagai wadah sampel air, Plastik sampel HDPE untuk wadah sampel sedimen sungai, Label digunakan untuk pelabelan botol sampel dan plastik sampel. *Cool box* digunakan untuk menyimpan sampel air dan sedimen, HNO_3 digunakan untuk pengawetan sampel air untuk parameter logam berat, GPS digunakan untuk menentukan koordinat pengambilan sampel, Peta daerah penelitian, Meteran untuk mengukur jarak antar pengambilan sampel di lapangan, Kamera dan alat tulis digunakan untuk merkapitulasi data dan dokumentasi lapangan.

Kegiatan penelitian mencakup beberapa tahapan seperti: tahapan persiapan, investigasi lapangan, pengujian laboratorium, pemodelan, penyusunan draf hasil dan pembahasan, serta kesimpulan. Tahap persiapan merupakan tahap awal dalam melakukan suatu penelitian. Tahap persiapan meliputi Melakukan kajian Pustaka yang bersangkutan dengan tema penelitian maupun hal yang berkaitan dengan lokasi penelitian. Studi literatur yang dimaksud meliputi kondisi geologi, hidrologi daerah penelitian, sumber pencemaran pada daerah pertambangan, perhitungan indeks polutan, perhitungan faktor kontaminasi dan pemetaan distribusi logam berat Cr^{6+} , Membuat rumusan masalah penelitian dan hipotesis awal atau dugaan sementara, Pengumpulan data sekunder dari perusahaan, instansi pemerintah dan studi literatur, data tersebut dibutuhkan untuk memahami kondisi alami dari sistem air tanah serta proses hidrologi yang mengontrol sistem air tanah di daerah penelitian. Beberapa data yang diperlukan mencakup: data fisik lokasi (topografi dan geologi), data hidrologi lokasi (curah hujan tahunan), data desain tambang. Membuat susunan kerja dan pelaksanaan investigasi lapangan. Investigasi lapangan merupakan kegiatan observasi dan pengukuran langsung di lokasi penelitian yang bertujuan untuk mengumpulkan data – data primer.

Pengujian sampel airtanah metode AAS (*Atomic Adsorption Spectrophotometer*) dilakukan pada enam puluh (60) sampel aliran sungai, satu (1) sampel pada *settling pond*, tiga puluh (30) sampel sedimen sungai, tiga (3) sampel lapisan saprolite dan tiga (3) sampel lapisan limonite. Parameter yang diujikan adalah Cr^{6+} , yang nantinya digunakan dalam pemodelan *transport* kontaminan. Pengujian sampel air dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Halu Oleo

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Indeks Polutan

Indeks polutan dinyatakan sebagai Indeks Pencemaran (*Pollution Index*) yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan (Zelano et al., 2016; Widodo et al., 2018). Indeks Pencemaran (IP) ditentukan untuk suatu peruntukan, kemudian dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan bagi

seluruh bagian badan air atau sebagian dari suatu sungai (Okto et al., 2019; Susanto et al., 2017). Logam berat dapat berasal dari proses alami erosi dan korosi batuan ataupun adanya aktivitas Gunung Merapi. Selain karena disebabkan oleh proses alam, kegiatan antropogenik di sekitar lokasi pengamatan dapat menjadi penyumbang pencemaran logam berat dalam sedimen (Aprilia, 2021). Hasil perhitungan indeks polutan aliran sungai sebelum hujan dapat di lihat pada Tabel 1 dan indeks polutan setelah hujan dapat di lihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil perhitungan Indeks Polutan (IP) pada aliran sungai sebelum hujan

NO	KODE SAMPEL	Cr ⁶⁺	PI Cr ⁶⁺	KRITERIA
1	as1+	0,0310	0,6200	memenuhi baku mutu
2	as2+	0,0610	1,2200	cemar ringan
3	as3+	0,0290	0,5800	memenuhi baku mutu
4	as4+	0,0370	0,7400	memenuhi baku mutu
5	as5+	0,0280	0,5600	memenuhi baku mutu
6	as6+	0,0310	0,6200	memenuhi baku mutu
7	as7+	0,0370	0,7400	memenuhi baku mutu
8	as8+	0,0380	0,7600	memenuhi baku mutu
9	as9+	0,0340	0,6800	memenuhi baku mutu
10	as10+	0,0410	0,8200	memenuhi baku mutu
11	as11+	0,0600	1,200	cemar ringan
12	as12+	0,0370	0,7400	memenuhi baku mutu
13	as13+	0,0340	0,6800	memenuhi baku mutu
14	as14+	0,0330	0,6600	memenuhi baku mutu
15	as15+	0,0310	0,6200	memenuhi baku mutu
16	as16+	0,0280	0,5600	memenuhi baku mutu
17	as17+	0,0270	0,5400	memenuhi baku mutu
18	as18+	0,0370	0,7400	memenuhi baku mutu
19	as19+	0,0320	0,6400	memenuhi baku mutu
20	as20+	0,0350	0,7000	memenuhi baku mutu
21	as21+	0,0380	0,7600	memenuhi baku mutu
22	as22+	0,0270	0,5400	memenuhi baku mutu
23	as23+	0,0270	0,5400	memenuhi baku mutu
24	as24+	0,0280	0,5600	memenuhi baku mutu
25	as25+	0,0290	0,5800	memenuhi baku mutu
26	as26+	0,0340	0,6800	memenuhi baku mutu
27	as27+	0,0250	0,5000	memenuhi baku mutu
28	as28+	0,0350	0,7000	memenuhi baku mutu
29	as29+	0,0370	0,7400	memenuhi baku mutu
30	as30+	0,0330	0,6600	memenuhi baku mutu

Tabel 2. Hasil perhitungan Indeks Polutan (IP) pada aliran sungai setelah hujan

NO	KODE SAMPEL	Cr ⁶⁺	PI Cr ⁶⁺	KRITERIA
1	as.1-	0,0440	0,8800	memenuhi baku mutu
2	as.2-	0,0580	1,1600	cemar ringan
3	as.3-	0,0370	0,7400	memenuhi baku mutu
4	as.4-	0,0570	1,1400	cemar ringan
5	as.5-	0,0380	0,7600	memenuhi baku mutu
6	as.6-	0,0360	0,7200	memenuhi baku mutu
7	as.7-	0,0490	0,9800	memenuhi baku mutu
8	as.8-	0,0350	0,7000	memenuhi baku mutu
9	as.9-	0,0360	0,7200	memenuhi baku mutu
10	as.10-	0,0410	0,8200	memenuhi baku mutu
11	as.11-	0,0530	1,0600	cemar ringan
12	as.12-	0,0510	1,0200	cemar ringan
13	as.13-	0,0440	0,8800	memenuhi baku mutu
14	as.14-	0,0380	0,7600	memenuhi baku mutu
15	as.15-	0,0530	1,0600	cemar ringan
16	as.16-	0,0490	0,9800	memenuhi baku mutu
17	as.17-	0,0380	0,7600	memenuhi baku mutu
18	as.18-	0,0540	1,0800	cemar ringan
19	as.19-	0,0490	0,9800	memenuhi baku mutu
20	as.20-	0,0510	1,0200	cemar ringan
21	as.21-	0,0530	1,0600	cemar ringan
22	as.22-	0,0310	0,6200	memenuhi baku mutu
23	as.23-	0,0300	0,6000	memenuhi baku mutu
24	as.24-	0,0520	1,0400	cemar ringan
25	as.25-	0,0500	1	memenuhi baku mutu
26	as.26-	0,0510	1,0200	cemar ringan
27	as.27-	0,0490	0,9800	memenuhi baku mutu
28	as.28-	0,0440	0,8800	memenuhi baku mutu
29	as.29-	0,0450	0,900	memenuhi baku mutu
30	as.30-	0,0460	0,9200	memenuhi baku mutu

Analisis Pencemaran Cr⁶⁺ pada aliran sungai

Untuk mengetahui tingkat pencemaran Cr⁶⁺ dari hasil analisis kandungan Cr⁶⁺ pada sampel aliran sungai dapat di kelompokkan menjadi 4 kategori berdasarkan dari indeks polutan yaitu (1) memenuhi baku mutu, (2) cemar ringan, (3) cemar sedang, (4) cemar berat (Bubala et al., 2019; Damaianto & Masduqi, 2014; Nasrullah et al., 2017). Dari hasil perhitungan indeks polutan pada aliran sungai dengan kondisi sebelum hujan dan setelah hujan dibuat Tabel untuk mengetahui sampel yang mengalami pencemaran pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Nilai Perhitungan Indeks Polutan Pada Aliran Sungai

Nilai PI	Kategori	Kondisi	
		Sebelum Hujan	Setelah Hujan
1,22	Cemar ringan	0,0610 mg/l (sampel as2+)	-
1,2	Cemar ringan	0,0600 mg/l (sampel (as11+)	-
1,16	Cemar ringan	-	0,0580 mg/l (sampel as2-)
1,14	Cemar ringan	-	0,0570 mg/l (sampel as4-)
1,06	Cemar ringan	-	0,0530 mg/l (sampel as11-)
1,02	Cemar ringan	-	0,0510 mg/l (sampel as12-)
1,06	Cemar ringan	-	0,0530 mg/l (sampel as15-)
1,08	Cemar ringan	-	0,0540 mg/l (sampel as18-)
1,02	Cemar ringan	-	0,0510 mg/l (sampel as20-)
1,06	Cemar ringan	-	0,0530 mg/l (sampel as21-)
1,04	Cemar ringan	-	0,0520 mg/l (sampel as24-)
1,02	Cemar ringan	-	0,0510 mg/l (sampel as26-)

Dari hasil perhitungan indeks polutan dimana terdapat hasil memenuhi baku mutu dan cemar ringan. Pada kondisi sebelum hujan 2 sampel yang mengalami area tercemar berada pada lokasi IUP, hal ini disebabkan karena lokasi berada di dekat area bukaan tambang sehingga nilai kromium heksavalen melebihi nilai dari baku mutu. kemudian pada saat kondisi setelah hujan nilai kromium heksavalen di 10 titik mempunyai nilai PI cemar ringan. Hal ini disebabkan karena tingginya intensitas hujan di lokasi penelitian yang membawa material tanah (lapisan saprolit dan limonit) yang mengandung kromium heksavalen masuk ke dalam badan sungai sehingga menyebabkan bertambahnya kromium heksavalen di aliran sungai. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menjelaskan bahwa Meningkatnya kegiatan industri berpotensi penggunaan logam dan meningkatnya penimbunan logam di daerah pesisir dan lautan, sehingga konsentrasi logam pada pesisir dan laut perlu dipantau terus-menerus (Damaianto & Masduqi, 2014) Logam berat memiliki sifat toksik atau beracun yang mana tidak mudah terlarut dalam air sehingga akan mempermudah terjadinya pencemaran baik pada air tawar maupun air laut. Pencemaran logam berat di perairan laut dapat menimbulkan dampak seperti terjadi perubahan fisik dari air laut tersebut misalnya perubahan bau, warna air dan rasa air, berbahaya bagi ekosistem tanaman dan biota air dan juga berbahaya terhadap kesehatan manusia yang mengkonsumsi tanaman maupun biota air yang telah terpapar logam berat tersebut (Bubala et al., 2019). Terbentuknya kromium heksavalen Cr^{6+} pada aliran sungai berkaitan dengan reaksi oksidatif Cr^{3+} dengan oksida Mn yang berasal dari lapisan limonit (Gambar 1). Oksida mangan adalah agen utama yang bertanggung jawab untuk oksidasi Cr^{3+} menjadi Cr^{6+} dalam air dengan nilai pH antara 6,5 dan 8,5 (Apte et al., 2006; Md. Equeenuddin & Kumar Pattnaik, 2020; Hadi, 2019)

Analisis Pencemaran Cr^{6+} pada sedimen sungai

Untuk mengetahui tingkat pencemaran Cr^{6+} dari hasil analisis kandungan Cr^{6+} pada sedimen sungai dapat dikelompokkan menjadi 4 kategori berdasarkan dari *contaminan factor* yaitu (1) kontaminasi rendah, (2) kontaminasi sedang, (3) kontaminasi tinggi, (4) kontaminasi sangat tinggi (Bubala et al., 2019). Dari hasil perhitungan *contaminan factor* di dapatkan bahwa di lokasi penelitian mengalami kontaminasi mulai dari sedang hingga tinggi dengan nilai $Cf > 1$ (kontaminasi sedang) dan $Cf > 3$ (kontaminasi tinggi). Ini menunjukkan pada sedimen sungai di lokasi penelitian telah mengalami pencemaran yang cukup besar, hal ini juga bisa terjadi karena proses penambangan di lokasi terjadi cukup lama sehingga kandungan Cr^{6+} telah mengalami proses pengendapan yang cukup lama. Konsentrasi logam berat Cr pada air yang berkisar antara 0.2 mg/l – 0.02 mg/l sudah dianggap tercemar yang hanya boleh digunakan sebagai air untuk keperluan pengairan tanaman (Hadi, 2019; Paramita, 2017; Akbar et al., 2015) Pengawasan, pengendalian dan tindakan konstruktif dengan menerapkan standar baku mutu limbah cair terhadap industri pertambangan yang menghasilkan limbah cair mengandung logam berat harus dilakukan untuk mencegah

terjadinya pencemaran lingkungan, kerugian materil dan timbulnya dampak kesehatan bagi masyarakat sekita (Aprilia, 2021; Marzuki, 2016)

SIMPULAN

Tingkat kandungan Cr^{6+} pada aliran sungai di lokasi penelitian didapatkan hasil pengujian dengan nilai diatas baku mutu ini disebabkan karena adanya proses pemekatan. Sedangkan untuk sedimen sungai kandungan Cr^{6+} memiliki hasil pengujian diatas baku mutu karena adanya proses pengendapan yang telah terjadi cukup lama.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada Rektor Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Dekan Fakultas Teknologi Mineral, dan Ketua Prodi Teknik Pertambangan serta Dosen di lingkup Prodi Teknik Pertambanangan, kami sampai terima kasih yang tak terhingga atas dukungan dan motivasinya selama inil sehingga penelitian ini bisa terwujud secara maksimal. Lebih special disampaikan terima kasih juga kepada teman teman mahasiswa program Magister Prodi Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, H., Damar, A., Kamal, M. M., Soewardi, K., & Putra, S. A. (2015). Distribusi logam berat pada air dan sedimen laut di wilayah pesisir Kabupaten Sumbawa Barat. *Jurnal Omni-Akuatika*, 11(2), 60–64. Retrieved from <http://ojs.omniakuatika.net/index.php/joa/article/view/959>
- Aprilia, W. P. (2021). *Analisis Logam Berat Dalam Sedimen Berdasarkan Geoaccumulation Index (Ige) Di Sungai Winongo* (Universitas islam Indonesia). Retrieved from <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/33587>
- Apte, A. D., Tare, V., & Bose, P. (2006). Extent of oxidation of Cr (III) to Cr (VI) under various conditions pertaining to natural environment. *Journal of Hazardous Materials*, 128(1–2), 164–174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.057>
- Bubala, H., Cahyadi, T. A., & Ernawati, R. (2019). Tingkat Pencemaran Logam Berat Di Pesisir Pantai Akibat Penambangan Bijih Nikel. In D. Sugati, S. Kadiman, R. Prastowo, A. H. F. Rizqi, & D. S. Pamuji (Eds.), *Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi (Retii) Ke-14 Tahun 2019* (pp. 113–122). Retrieved from <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/1170>
- Damaianto, B. B., & Masduqi, A. A. (2014). Indeks pencemaran air laut pantai utara Kabupaten Tuban dengan parameter logam. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), D1–D4. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v3i1.5378>
- ESDM, D. (2018). Laporan Gubernur Terhadap Kegiatan Pertambangan di Provinsi Sulawesi Tenggara, Triwulan I. *Dinas Energi Dan Sumber Daya Mineral Propinsi Sulawesi Tenggara*.
- Gunkel-Grillon, P., Laporte-Magoni, C., Lemestre, M., & Bazire, N. (2014). Toxic chromium release from nickel mining sediments in surface waters, New Caledonia. *Environ Chem Lett*, 12(4), 511–516. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10311-014-0475-1>
- Hadi, A. W. (2019). Analisis Kualitas Air Permukaan Berdasarkan Kandungan Logam Berat (Pb, Cu, Cd, Cr) Di Kawasan Gumuk Pasir, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta (Universitas Islam Indonesia). Retrieved from <http://hdl.handle.net/123456789/16948>
- Lintjewas, L., Setiawan, I., & Al, A. (2019). Profil Endapan Nikel Laterit di Daerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara. *RISSET Geologi Dan Pertambangan*, 29(1), 91–104. Retrieved from <http://jrissetgeotam.lipi.go.id/index.php/jrisgeotam/article/view/970/pdf>
- Marzuki, I. (2016). Analisis Chromium Hexavalent dan Nikel Terlarut dalam Limbah Cair Area Pertambangan PT VALE Tbk. Soroako-Indonesia. *Chemica: Jurnal Ilmiah Kimia Dan Pendidikan Kimia*, 17(2), 1–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.35580/chemica.v17i2.4679>
- Md. Equeenuddin, S., & Kumar Pattnaik, B. (2020). Hydrogeochemical evolution of

- hexavalent chromium at the Sukinda ultramafic complex in eastern part of India. *Geochemistry*, 80(4), 125633. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125633>
- Nasrullah, N., Taklim, M. K., Nurjannah, N., & Wiyani, L. (2017). Upaya Penurunan Krom Heksavalen pada Air Tambang Nikel dengan Menggunakan Reduktor Ferro Sulfat. *Journal of Chemical Process Engineering*, 2(2), 45–51. Retrieved from <https://www.jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JCPE/article/view/166>
- Okto, A., Ngkoimani, L. O., Asfar, S., Asfar, S., Jahiddin, & Mili, M. Z. (2019). Analisis pengaruh aktivitas pertambangan terhadap kualitas air tanah di Kabupaten Konawe Selatan. *Jurnal Geologi Terapan*, 1(1), 43–52.
- Paramita, R. W. (2017). Kandungan logam berat kadmium (Cd) dan kromium (Cr) di air permukaan dan sedimen: studi kasus Waduk Saguling Jawa Barat. *Jurnal Reka Lingkungan*, 5(2), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.26760/rekalingkungan.v5i2.%25p>
- Susanto, T. N., Atmono, A., & Natalina, N. (2017). Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Ayam Sebagai Media Adsorben Dalam Penurunan Kadar Logam Kromium Heksavalen (Cr6+) Pada Limbah Cair Industri Elektrolating. *Ecolab*, 11(1), 27–31. Retrieved from <http://ejournal.forda-mof.org/ejournal-litbang/index.php/JKLH/article/view/4852>
- Widodo, S., Safitri, D., Asmiani, N., & Bechtel, A. (2018). Treatment of Cr6+ using phytoremediation method in Rante Pond of PT. Vale Indonesia Tbk. *International Journal of Engineering and Science Applications*, 5(2), 93–100. Retrieved from <http://pasca.unhas.ac.id/ojs/index.php/ijesca/article/view/1750>
- Zelano, I. O., Sivry, Y., Quantin, C., Gélabert, A., Tharaud, M., Nowak, S., ... Benedetti, M. F. (2016). Study of Ni exchangeable pool speciation in ultramafic and mining environments with isotopic exchange kinetic data and models. *Applied Geochemistry*, 64, 146–156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.021>