

Potensi Kerusakan Ekosistem sebagai Dampak Luapan Lumpur Lapindo: A Systematic Literature Review

Salsabilla Abidah Alfina *¹
Amaturahman Zulfa ²
Ahmad Fauzi Hendratmoko ³

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan IPA, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

*e-mail : salsabilla.22046@mhs.unesa.ac.id ¹, amaturahman.22048@mhs.unesa.ac.id ²,
ahmadhendratmoko@unesa.ac.id ³

Abstrak

Bencana lumpur Lapindo yang terjadi di Sidoarjo, Jawa Timur pada tahun 2006 merupakan salah satu bencana lingkungan besar yang pernah terjadi di Indonesia. Bencana ini mengakibatkan timbulnya dampak negatif di berbagai aspek, salah satunya pada aspek lingkungan, yaitu kerusakan lingkungan yang serius, termasuk pencemaran di air dan tanah yang dapat memengaruhi ekosistem sekitarnya. Metode yang digunakan pada penulisan artikel ini yaitu *systematic literature review* yang memiliki tujuan untuk mengetahui potensi kerusakan ekosistem sebagai dampak luapan lumpur Lapindo dengan meninjau artikel-artikel dari dua sumber berbeda, yakni dari database Scopus dan Google Scholar. Lumpur yang terus mengalir mengandung zat berbahaya, seperti gas dan sejumlah logam berat dengan kadar tinggi. Beberapa mineral juga terkandung di dalamnya. Zat berbahaya yang terkandung dalam lumpur dapat menyebabkan kerusakan ekosistem di sekitarnya. Logam berat dapat menjadi racun bagi organisme jika terserap di dalam tubuh dan menyebabkan kematian. Namun, ada beberapa organisme yang dapat bertahan. Hal ini dapat menyebabkan fenomena biomagnifikasi pada rantai makanan ekosistem. Pencemaran lumpur dalam jangka panjang dapat menurunkan keanekaragaman hayati organisme dan merusak ekosistem di daratan dan perairan yang ada di sekitarnya.

Kata Kunci : Lumpur Lapindo, Ekosistem, Pencemaran, Logam Berat

Abstract

The Lapindo mud disaster that occurred in Sidoarjo, East Java in 2006 was one of the major environmental disasters that ever occurred in Indonesia. This disaster has a negative impact on various aspects, one of which is the environmental aspect, namely serious environmental damage, including pollution in the air and land which can affect the surrounding ecosystem. The method used in writing this article is a *systematic literature review* which aims to determine the potential for ecosystem damage as a result of the Lapindo mudflow by reviewing articles from two different sources, namely from the Scopus database and Google Scholar. The mud that continues to flow contains dangerous substances, such as gas and high levels of a number of heavy metals. Several minerals are also contained in it. Dangerous substances contained in mud can cause damage to the surrounding ecosystem. Heavy metals can be toxic to organisms if absorbed in the body and cause death. However, there are some organisms that can survive. This can cause a biomagnification phenomenon in the ecosystem food chain. Long-term mud pollution can reduce the biodiversity of organisms and damage ecosystems on land and surrounding waters.

Keywords : Lapindo Mud, Ecosystem, Pollution, Heavy Metals

PENDAHULUAN

Lumpur Lapindo merupakan salah satu bencana lingkungan besar yang terjadi di Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia pada tahun 2006. Penyebab terjadinya semburan lumpur Lapindo ini yaitu berasal dari proyek PT. Lapindo Brantas yang sedang mengeksplorasi sumber minyak bumi. Ledakan bawah tanah atau *underground blow out* terjadi selama proses penggalian (Priambodo *et al.*, 2023). Adapula pandangan lain, bahwa bencana ini disebabkan oleh gempa bumi yang terjadi di Yogyakarta dua hari sebelum bencana ini terjadi (Intakhiya *et al.*, 2021). Namun, penyebab utamanya belum diketahui secara pasti. Diketahui, semburan lumpur Lapindo memiliki suhu sekitar 60 derajat Celcius dan gas itu mulai menyembur sejak subuh di tengah area persawahan desa. Berbagai upaya dilakukan agar semburan lumpur itu dapat dihentikan tetapi tidak berhasil.

Imbasnya, sebanyak 3 kecamatan yang di dalamnya terdapat 16 desa di Sidoarjo tenggelam akibat luapan lumpur Lapindo. Kecamatan yang terdampak langsung yaitu Jabon, Porong, dan Tanggulangin. Dengan total 45.000 jiwa yang kehilangan tempat tinggal (Priambodo *et al.*, 2023).

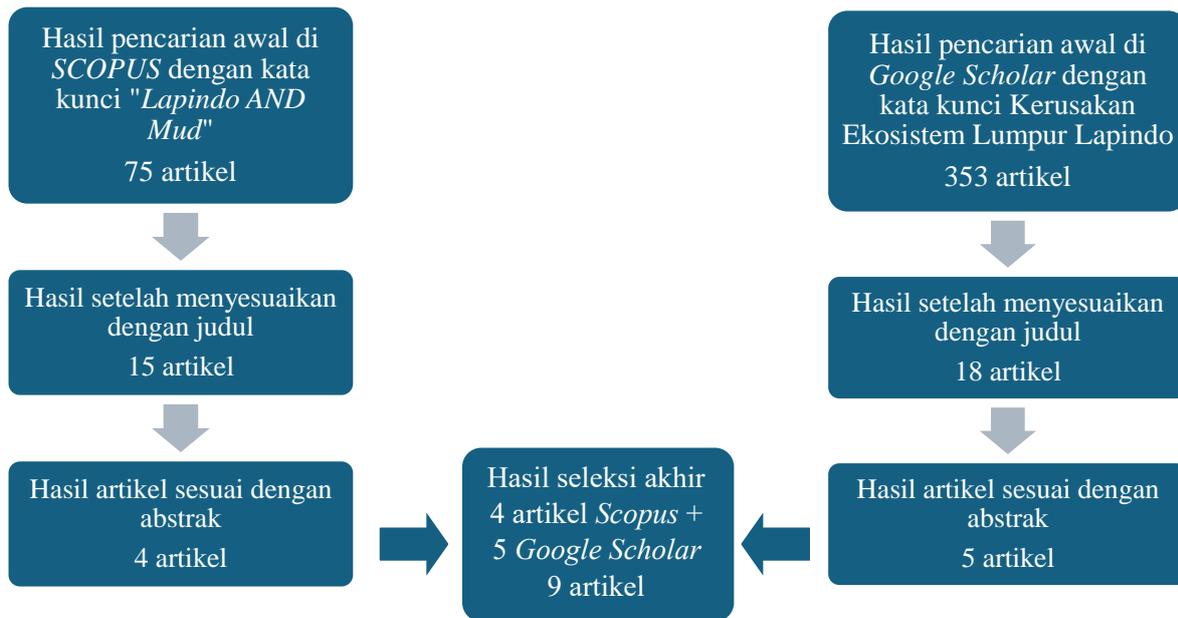
Bencana lumpur Lapindo mengakibatkan timbulnya dampak negaif di berbagai aspek, di antaranya dampak fisik, sosial, ekonomi, psikologis, dan dampak lingkungan. Hal ini mencakup kerusakan infrastruktur, kerusakan hutan dan lahan pertanian, kehilangan mata pencaharian atau pekerjaan dan penurunan pendapatan, penutupan usaha bisnis dan industri, serta kerusakan lingkungan yang serius, termasuk pencemaran di air dan tanah. Dalam jangka panjang, pencemaran ini akan memengaruhi ekosistem yang ada di sekitarnya secara keseluruhan.

Kerusakan lingkungan yang terjadi di sekitar luapan lumpur Lapindo secara langsung telah menyebabkan kerusakan ekosistem yang ada di sana. Lumpur yang terus mengalir menyebabkan kerusakan lahan pertanian, dan lahan-lahan basah. Ekosistem sungai dan laut juga terdampak karena aliran lumpur yang mencemari air, mengurangi kualitas air, dan merusak habitat bagi kehidupan air. Semburan panas lumpur lapindo mengandung logam berat seperti Mn, Zn, Cu, Cr, Cd, Pb, Co, Ni, Hg, dan As, serta mengeluarkan gas beracun yang dapat mencemari lingkungan sehingga dapat berdampak pada kehidupan flora dan fauna di sekitarnya (Ciptawati *et al.*, 2022).

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan di atas, studi ini bertujuan untuk memetakan potensi kerusakan ekosistem sebagai dampak luapan lumpur Lapindo berdasarkan *systematic literature review*.

METODE

Untuk memperoleh informasi mengenai potensi kerusakan ekosistem sebagai dampak luapan lumpur Lapindo, metode *systematic literature review* ini merupakan metode yang sesuai. *Systematic literature review* memiliki tujuan untuk merangkum literatur yang ada, mengenai potensi kerusakan ekosistem sebagai dampak luapan lumpur Lapindo, Metode ini dilakukan dengan tiga langkah dasar dengan dua sumber yang berbeda, yang pertama bersumber dari database Scopus dan yang kedua bersumber dari database Google Scholar. Tahapan seleksi artikel dari database Scopus dimulai dari pencarian awal dengan kata kunci Lapindo AND Mud dan menemukan sebanyak 75 artikel. Kemudian disaring kembali berdasarkan judul dan menemukan sebanyak 15 artikel. Hasil tersebut kemudian di seleksi kembali, dikaji lebih dalam berdasarkan kesesuaian isi abstrak dan didapatkan seleksi akhir sebanyak 4 artikel yang terkait. Pada seleksi artikel dari database Google Scholar, tahapan pertama dilakukan pencarian awal dengan kata kunci Kerusakan Ekosistem Lumpur Lapindo dan menemukan sebanyak 353 artikel. Kemudian disaring kembali berdasarkan judul dan menemukan sebanyak 18 artikel. Hasil tersebut, kemudian diseleksi kembali, dikaji lebih dalam berdasarkan kesesuaian isi abstrak dan didapatkan seleksi akhir sebanyak 5 artikel yang terkait. Gabungan dari dua database tersebut, mendapatkan sebanyak 9 artikel yang terkait dengan topik. Tahapan seleksi dan penyaringan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan seleksi dan penyaringan artikel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelusuran literatur dengan metode *systematic literature review*, ditemukan sebanyak 9 jurnal dan artikel yang relevan. Berikut beberapa hasil penelitian yang dijadikan acuan dalam penelitian ini yang disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Seleksi Artikel dari *Scopus*

No.	Penulis & Tahun	Hasil Penelitian
1	Bioresita, F., Ummah, M. H., Wulansari, M., & Putri, N. A. (2021)	Pada penelitian yang telah dilakukan oleh penulis menghasilkan status trofik perairan muara Sungai Porong termasuk dalam kelas eutrofik atau telah tercemar. Hasilnya menunjukkan kecenderungan peningkatan wilayah dengan status trofik tercemar pada bulan Februari hingga Juni.
2	Fachrudiana, A. A., Rachmadiarti, F. (2021)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa indeks keanekaragaman ikan dengan kualitas fisik dan kimia air di perairan teritorial Pulau Lusi Kabupaten Sidoarjo tergolong tidak tercemar karena nilai H ₂ O yang menurut Lee Wang & Kuo termasuk ke dalam kategori tidak terkontaminasi.
3	Hariyanto, T., Krisna, T. C., Pribadi, C. B., Kurniawan, A., Sukojo, B. M., & Taufik, M. (2017)	Hasil dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis yaitu terdapat beberapa lokasi yang terindikasi mengalami dampak sedimentasi parah seperti di Sungai Porong, Muara Sungai Porong, Muara Sungai Alo, dan di sekitarnya.
4	Purnomo, T., & Rachmadiarti, F. (2018)	Hasil penelitian menunjukkan pencemaran ekosistem perairan oleh lumpur panas Lapindo telah membawa perubahan faktor lingkungan dan menurunnya keanekaragaman hayati organisme perairan di pesisir timur Sidoarjo.

Tabel 2. Hasil Seleksi Artikel dari *Google Scholar*

No.	Penulis & Tahun	Hasil Penelitian
1	Ciptawati, E., Dzikrulloh, M. H. A., Septiani, M. O., Rinata, V., Rokhim, D. A., Fauziyyah, N. A., & Sribuana, D. (2022)	Hasil penelitian menunjukkan kandungan mineral lumpur panas Sidoarjo dan logam berat pada 3 radius berbeda memiliki kandungan yang relatif sama. Diketahui kandungan mineral paling besar adalah silika yang dapat bermanfaat dalam bidang pangan, industri, hingga dalam bidang katalis.
2	Purnomo, T., Rachmadiarti, F., & Soegiyanto, S. (2018)	Hasil penelitian menunjukkan lumpur panas menyebabkan perubahan faktor lingkungan pada ekosistem perairan sebaran lumpur panas Lapindo. Hal ini terlihat dari rendahnya keanekaragaman hayati organisme akuatik (tumbuhan air, plankton, dan ikan) di perairan. Beberapa organisme yang dapat bertahan dapat mengakibatkan fenomena biomagnifikasi pada rantai makanan ekosistem perairan.
3	Rahmawati, A., & Ingsih, I. S. (2020)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa tambak di beberapa desa yang mendapat pengaruh dari sungai porong mengalami penurunan kualitas air tambak namun masih termasuk dalam kelas sesuai, hasil penelitian lainnya menunjukkan adanya faktor lain yang juga menghambat kualitas air sungai porong yaitu adanya limbah lumpur lapindo sehingga kualitas air tambak yang mendekati pembuangan lumpur lapindo termasuk dalam kelas tidak sesuai.
4	Serdani, A. D., & Widiatmanta, J. (2019)	Dari hasil penelitian ditemukan adanya interaksi nyata pemberian kombinasi media tanam dan mikoriza terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sawi. Kombinasi perlakuan terbaik ditunjukkan pada perlakuan kombinasi media tanam (lumpur Lapindo dan kotoran sapi) dengan 10 gr mikoriza/tanaman (A1P2). Namun, media tanam dengan konsentrasi lumpur Lapindo yang tinggi dapat mengakibatkan tanaman mati karena kandungan logam berat tinggi di dalamnya.
5	Tarzan, P. (2014)	Hasil penelitian menunjukkan kadar Cd dan Pb baik pada perairan maupun pada ikan yang hidup di perairan yang tercemar lumpur Lapindo telah melampaui nilai ambang batas baku mutu yang berarti tidak memenuhi standar keamanan pangan.

Luapan lumpur Lapindo memiliki banyak material vulkanik bercampur gas, sehingga dapat disebut *mud volcano*. Lumpur tersebut mengandung mineral dan sejumlah logam berat. Berdasarkan uji kandungan mineral diketahui silika (SiO₂) memiliki persentase yang paling besar dari mineral lainnya. Beberapa kandungan mineral lain, seperti alumina (Al₂O₃), hematit (Fe₂O₃), dan kapur tohor (CaO) juga terkandung di dalamnya. Sedangkan, pada uji kandungan logam berat diketahui timbal (Pb) dan tembaga (Cu) memiliki presentase yang paling besar. Logam berat lainnya juga terkandung di dalamnya seperti, Cd, As, Fe, Hg, Zn, Ni, dan Cr (Ciptawati *et al.*, 2022). Selain itu, semburan lumpur yang masih terus berlanjut tidak sedikit mengandung gas beracun yang berbahaya, salah satunya yaitu gas amonia (NH₃)³, yang menimbulkan bau cukup menyengat sampai saat ini (Rohmah *et al.*, 2023).

Lumpur Lapindo mengandung logam berat seperti Mn, Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, Co, Ni, Hg, dan As. Menurut Zaynab *et al* (2022) unsur logam berat yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan yaitu, Cd, As, Fe Pb, Hg, Zn, Ni, Cr dan Cu. Diketahui kandungan logam berat dan PAH

(*Polycyclic Aromatic Hydrocarbon*) di sekitar luapan pada tahun 2018 mencapai 2000 kali, di atas ambang batas normal (Abdillah & Suryawan, 2019). Kadar logam berat yang tinggi dapat membahayakan kehidupan di lingkungan sekitarnya. Terutama lingkungan ekosistem perairan. Logam berat seperti kadmium dan timbal yang masuk ke badan air akan bersifat racun dan tidak dapat dimusnahkan atau terdegradasi oleh organisme sehingga terakumulasi di lingkungan yang pada akhirnya dapat menurunkan kualitas tanah dan bersifat racun bagi tanaman serta organisme lain (Zannah & Sudarti, 2021).

Pada penelitian yang dilakukan Serdani & Widiatmanta (2019), dengan menambahkan lumpur Lapindo pada media tanam dengan konsentrasi tinggi dapat mengakibatkan tanaman mati karena kandungan logam berat tinggi di dalamnya. Pada tanaman, mereka dapat mengganggu proses fisiologis penting, menyebabkan berkurangnya pertumbuhan, klorosis (daun menguning), serta ketidakseimbangan nutrisi yang berujung pada kematian tanaman. Selain itu, logam berat juga dapat merusak mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam menjaga kesehatan tanah. Logam berat dapat mengganggu populasi mikroorganisme dan mengganggu proses metabolismenya, sehingga menyebabkan ketidakseimbangan ketersediaan unsur hara dan penurunan kesehatan tanah. Luapan lumpur Lapindo yang memiliki salinitas tinggi telah mengakibatkan matinya sebagian besar tanaman di pesisir Timur Sidoarjo dan sekitarnya. Namun ada beberapa tanaman yang dapat bertahan dan toleran terhadap logam berat di wilayah tersebut diantaranya, *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes L.*, *Ipomoea aquatica*, dan *Typha latifolia L.* Tanaman tersebut memiliki ketahanan karena mampu mengikat logam berat pada jaringannya. Tanaman tersebut juga memiliki potensi dapat menurunkan kandungan logam berat, melalui penyerapan oleh akar dan selanjutnya akan terakumulasi dalam akar, batang, daun, dan biji (Purnomo & Rachmadiarti, 2018).

Dampak luapan lumpur Lapindo juga memengaruhi banyak populasi hewan di sekitarnya. Terutama hewan-hewan yang hidup di perairan seperti ikan, amfibi, dan reptil air terdampak langsung oleh cemaran lumpur Lapindo. Lumpur yang mengalir di aliran-aliran sungai ataupun yang sengaja dibuang ke laut menyebabkan perubahan pH, perubahan warna air menjadi keruh, dan bau yang menyengat. Organisme yang tidak dapat beradaptasi dengan perubahan tersebut akan mengalami kesulitan dalam bertahan hidup, dan akhirnya mati karena kandungan logam berat yang dapat meracuni organ tubuh. Logam berat yang masuk ke dalam jaringan tubuh organisme dapat melalui beberapa saluran, seperti saluran pernapasan, saluran pencernaan, maupun penetrasi melalui kulit. Pencemaran oleh lumpur Lapindo juga telah menyebabkan hilangnya daya dukung ekosistem terhadap kehidupan plankton sebagai produsen utama di lingkungan air (Herbila *et al.*, 2022).

Beberapa hewan air yang dapat bertahan hidup akan terpapar logam berat menyebabkan fenomena biomagnifikasi pada rantai makanan ekosistem perairan. Logam berat dapat terakumulasi pada organisme air seperti fitoplankton dan zooplankton karena organisme-organisme ini lebih cepat menyerap logam berat dari lingkungan dibandingkan dengan kemampuan mereka untuk membuangnya melalui proses ekskresi. Ketika organisme lain memakannya, maka kandungan tersebut akan terakumulasi di dalam tubuh mereka. Akumulasi ini dapat membahayakan kesehatan rantai makanan karena logam berat cenderung sulit untuk dikeluarkan dari tubuh dan dapat merusak organisme yang terlibat dalam rantai makanan tersebut (Purnomo & Rachmadiarti, 2018).

Luapan lumpur Lapindo menimbulkan dampak yang besar seperti menenggelamkan pemukiman warga, sawah, tambak, jalan, dan bangunan lainnya dengan lumpur yang mengandung berbagai zat yang dapat mencemari lingkungan. Dampak ekologis yang ditimbulkan dari bencana ini yaitu terjadi penurunan terhadap kualitas air sungai, kualitas makhluk hidup di dalamnya, serta tercemarnya tambak di hilir sungai dengan endapan lumpur yang mengandung zat berbahaya, seperti logam berat. Logam berat dalam konsentrasi yang rendah saja dapat menimbulkan efek negatif pada organisme. Selain itu, lumpur yang mengalir ke sungai dapat menghambat aliran sungai untuk mengalir ke laut (Dee *et al.*, 2019).

Cemaran lumpur pada perairan dapat memengaruhi keanekaragaman hayati dan ekosistem dalam jangka panjang. Air yang tercemar lumpur mengandung logam dapat

mengakibatkan kerusakan pada ekosistem, termasuk kematian tanaman, biota, hewan, dan mikroorganisme. Pencemaran lumpur pada perairan juga dapat menghambat proses pertumbuhan dan pembangunan, serta berdampak pada produktivitas dan jasa yang diberikan oleh ekosistem (Ngabekti et al., 2019). Selain itu, pencemaran air karena lumpur dapat menimbulkan kerusakan pada sumber daya genetik, yang akan mempercepat proses erosi keragaman genetik atau hilangnya sumber daya genetik.

Logam berat yang terdapat di perairan tidak dapat terurai di dalam air, sehingga air menjadi tercemar dan logam akan terakumulasi dalam air. Logam berat yang berada di dalam air akan diserap dan diakumulasi oleh tanaman (Syafriiliansah et al., 2022). Kondisi tanah yang terkontaminasi limbah logam dapat menyebabkan tanaman tidak tumbuh dengan baik serta merusak ekosistem pada lingkungan, hal ini dikarenakan sifat fisik dan kimia tanah. Dampak lain dari pencemaran logam berat adalah terhadap kesehatan manusia ketika tanaman yang tumbuh di daerah yang tercemar secara tidak sengaja dikonsumsi oleh manusia (Putri et al., 2023).

KESIMPULAN

Semburan lumpur Lapindo mengandung zat berbahaya seperti gas dan logam berat dengan kadar tinggi yang dapat menyebabkan kerusakan ekosistem di sekitarnya. Logam berat yang terserap di dalam tanah mengakibatkan kematian pada tanaman dan organisme yang hidup di dalamnya, serta dapat menjadi racun atau terakumulasi di dalam tubuh hewan, sehingga menimbulkan fenomena biomagnifikasi pada rantai makanan ekosistem. Pencemaran lumpur dalam jangka panjang dapat menurunkan keanekaragaman hayati organisme dan merusak ekosistem di daratan dan perairan yang ada di sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, R. M., & Suryawan, I. B. (2019). Strategi Pengembangan Lumpur Lapindo Sebagai Wisata Edukasi Di Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. *Jurnal Destinasi Pariwisata*, 7(2), 280.
- Ciptawati, E., Dzikrulloh, M. H. A., Septiani, M. O., Rinata, V., Rokhim, D. A., Fauziyyah, N. A., & Sribuana, D. (2022). Analisis Kandungan Mineral dari Lumpur Panas Sidoarjo sebagai Potensi Sumber Silika dan Arah Pemanfaatannya. *Indonesian Journal of Chemical Analysis (IJCA)*, 5(1), 18-28.
- Dee, K. H., Abdullah, F., Md Nasir, S. N. A., Appalashamy, S., Mohd Ghazi, R., & Eh Rak, A. (2019). Health Risk Assessment of Heavy Metals from Smoked Corbicula Fluminea Collected on Roadside Vendors at Kelantan, Malaysia. *BioMed research international*, 2019.
- Herbila, S., Syam, N., & Batara, A. S. (2022). Analisis Konsentrasi Logam Berat Seng (Zn) Pada Air, Sedimen, Dan Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) Di Kanal Kota Makassar. *Window of Public Health Journal*, 3(6), 1044-1053.
- Intakhiya, D. M., Santoso, U. P., & Mutiarin, D. (2021). Strategi dalam penanganan kasus lumpur Lapindo pada masyarakat terdampak lumpur Lapindo Porong-Sidoarjo Jawa Timur. *Moderat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 7(3), 565-585.
- Ngabekti, S., & Rahayu, E. S. (2019). *Konservasi Keanekaragaman Hayati*. Universitas Negeri Semarang Press.
- Priambodo, A., Wiguna, I. P., & Zen, A. P. (2023). Desa Mindi Pasca Tragedi Lumpur Lapindo Dalam Conceptual Photography. *eProceedings of Art & Design*, 10(1).
- Purnomo, T., & Rachmadiarti, F. (2018). The Changes of Environment and Aquatic Organism Biodiversity in East Coast of Sidoarjo Due to Lapindo Hot Mud. *GEOMATE Journal*, 15(48), 181-186.
- Putri, A. A., Permana, F. G., Wulandari, A., & Irawanto, R. (2023). Respon Pertumbuhan Ipomoea Reptans Pada Media Tanam (Tanah dan Air) Terhadap Pencemar Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu). In *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi*, 13(1), 14-24.
- Rohmah, S. M., Rachmaniyah, R., Rusmiati, R., Khambali, K., & Sulistio, I. (2023). Kualitas Udara Akibat Lumpur Lapindo dan Keluhan Kesehatan Masyarakat. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, 3(2), 53-60.

-
- Serdani, A. D., & Widiatmanta, J. (2019). Respon Kandungan Logam Berat Dan Pertumbuhan Tanaman Sawi (*Brassica juncea*) Terhadap Kombinasi Media Tanam Lumpur Lapindo Dan Mikoriza. *VIABEL: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*, 13(2), 16-25.
- Syafriliansah, M. W., & Purnomo, T. (2022). Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Tumbuhan Aquatik dan Air Sebagai indikator kualitas Air Sungai Brangkal Mojokerto. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 341-350.
- Zannah, H., & Sudarti, S. (2021). Analisis Persepsi Masyarakat Tentang Dampak Lumpur Lapindo Terhadap Tingkat Kesuburan Tanah. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, 1(2), 44-49.
- Zaynab, M., Al-Yahyai, R., Ameen, A., Sharif, Y., Ali, L., Fatima, M., & Li, S. (2022). Health and Environmental Effects of Heavy Metals. *Journal of King Saud University-Science*, 34(1), 101653.