

Evaluasi Efektivitas Lapisan Area Penimbunan Faba dalam Pengendalian Kualitas Air Tanah di Sumur Pantau PT. PLN Nusantara Power UP Paiton

Andini Virgiana Rahmawati^{1*}, Restu Hikmah Ayu Murti²

¹⁻² Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia

*Korespondensi penulis: restu.hikmah.tl@upnjatim.ac.id

Abstract. Fly ash and bottom ash (FABA) are combustion residues from coal-fired power plants. Following the issuance of Government Regulation No. 22 of 2021, FABA is no longer classified as hazardous and toxic waste (B3). However, FABA must still be managed properly due to its potential to cause pollution through leachate generated if leaks occur in the FABA disposal area. This study evaluates the lining and drainage systems in the FABA disposal area at PT. PLN Nusantara Power UP Paiton to ensure that leachate does not contaminate surrounding groundwater. The research employs descriptive qualitative and quantitative methods, collecting secondary data to assess the structure and pollution control systems in the FABA disposal area at PT. PLN Nusantara Power UP Paiton. The data includes the disposal area structure and water quality from monitoring wells. Analysis results indicate that the FABA disposal area lining system operates effectively and in compliance with regulations, successfully containing leachate movement and preventing seepage. This is supported by pH, Fe, Hg, and turbidity levels in groundwater from monitoring wells remaining within safe limits. Additionally, the presence of a runoff pond helps contain surface runoff during heavy rain, keeping overflow water under control. Overall, the disposal area structure and leachate management system at PT. PLN Nusantara Power UP Paiton function well, but routine monitoring must continue to ensure no seepage occurs, preventing leachate from contaminating the surrounding environment as an early preventive measure to maintain environmental quality and regulatory compliance.

Keywords: Bottom Ash; Disposal Area; Fly Ash; Groundwater; Monitoring Wells.

Abstrak. Fly ash dan bottom ash (FABA) adalah sisa pembakaran batu bara di PLTU. Setelah terbitnya Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, FABA tidak lagi dikategorikan sebagai limbah B3. Namun, FABA tetap harus dikelola dengan baik karena berpotensi menimbulkan pencemaran melalui lindi yang timbul apabila terjadi kebocoran pada area penimbunan FABA. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem lapisan dan drainase area penimbunan FABA di PT. PLN Nusantara Power UP Paiton dan memastikan bahwa lindi tidak mencemari air tanah di sekitarnya. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dan deskriptif kuantitatif dengan mengumpulkan data sekunder untuk mengetahui struktur dan sistem pengendalian pencemaran di area penimbunan FABA PT. PLN Nusantara Power UP Paiton. Data tersebut meliputi struktur area penimbunan dan kualitas air di sumur pantau. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem pelapisan area penimbunan FABA berjalan dengan baik dan sesuai regulasi sehingga mampu menahan pergerakan air lindi dan menghindari rembesan. Hal tersebut diperkuat dengan kadar pH, Fe, Hg, dan kekeruhan pada air tanah di sumur pantau masih berada dalam batas aman. Selain itu, keberadaan kolam limpasan (*runoff pond*) juga membantu menahan aliran permukaan ketika hujan deras sehingga menjaga air limpasan tetap terkendali. Secara keseluruhan, struktur area penimbunan dan sistem pengelolaan air lindi yang dimiliki oleh PT. PLN Nusantara Power UP Paiton berjalan dengan baik tetapi tetap harus dilakukan pemantauan secara rutin untuk memastikan bahwa tidak terjadi rembesan sehingga air lindi tidak mencemari lingkungan sekitar sebagai langkah pencegahan dini untuk menjaga kualitas lingkungan dan kepatuhan terhadap regulasi yang berlaku.

Kata kunci: Air Tanah; Area Penimbunan; Bottom Ash; Fly Ash; Sumur Pantau.

1. LATAR BELAKANG

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan jenis pembangkit listrik yang menggunakan uap panas sebagai energi penggerak generator sehingga menghasilkan energi listrik. Uap panas yang digunakan berasal dari proses penguapan air dalam unit *boiler* yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utamanya (Wilmer et al., 2022). Proses pembakaran ini menghasilkan limbah padat berupa *fly ash* dan *bottom ash* (FABA). *Fly ash* merupakan abu terbang sedangkan *bottom ash* merupakan abu yang mengendap di dasar *boiler* (Pangestuti et al., 2023). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup menetapkan bahwa *fly ash* dan *bottom ash* (FABA) dari hasil proses produksi PLTU tidak lagi dikategorikan sebagai limbah B3. Keputusan ini didasarkan pada hasil uji karakteristik yang menunjukkan bahwa FABA tidak memiliki sifat B3, melainkan menyerupai abu biasa dengan kandungan mineral yang stabil (Azam et al., 2019). Dengan perubahan status tersebut, FABA kini termasuk limbah non-B3 terdaftar yang pengelolaannya mengacu pada Permen LHK Nomor 19 Tahun 2021. Aturan ini mewajibkan pengelolaan FABA melalui penyimpanan, pemanfaatan, dan/atau penimbunan untuk mencegah pencemaran lingkungan dan risiko kesehatan masyarakat di sekitar wilayah operasional PLTU.

Walaupun tidak lagi dikategorikan sebagai limbah B3, FABA tetap berpotensi menimbulkan pencemaran terutama melalui air lindi apabila terjadi kebocoran pada area penimbunan. Oleh karena itu, pemantauan air lindi sangat penting untuk mengurangi risiko pencemaran air tanah dan air permukaan di sekitar lokasi penimbunan. PT. PLN Nusantara Power UP Paiton telah menerapkan sistem pengelolaan air di area penimbunan menggunakan konsep sirkulasi tertutup. Air lindi yang terkumpul dialirkan kembali ke area penimbunan sehingga air tersebut tidak dibuang ke lingkungan sekitar (Saad & Purnamasari, 2022). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa efektif sistem lapisan dan drainase pada area penimbunan FABA dalam mengendalikan pencemaran air meskipun terjadi perubahan regulasi akibat perubahan status limbah B3 menjadi non-B3 terdaftar. Evaluasi dilakukan dengan mengkaji struktur area penimbunan dan kualitas air tanah di sekitarnya. Diharapkan hasil penelitian dapat memberikan rekomendasi untuk perbaikan pengelolaan limbah FABA yang lebih baik dan mendukung operasional PLTU yang ramah lingkungan sebagai langkah pencegahan dini guna menjaga kualitas lingkungan dan kepatuhan terhadap ketentuan peraturan yang berlaku.

2. KAJIAN TEORITIS

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan pembangkit listrik tenaga uap dengan batubara sebagai bahan bakar utamanya. Proses pembakaran batubara dilakukan pada unit *boiler*, yaitu unit yang berfungsi untuk memanaskan air yang dialirkan pada pipa-pipa yang terletak di seluruh sisi dinding boiler sehingga menghasilkan uap. Uap tersebut digunakan untuk menggerakkan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik (Vedran et al., 2023). Proses pembakaran tersebut menghasilkan limbah padat berupa residu abu. *Fly ash* merupakan abu yang terbawa oleh gas hasil pembakaran ke bagian atas boiler yang kemudian melewati sistem penangkap debu yaitu *Electrostatic Precipitator (ESP)* agar tidak keluar melewati cerobong asap sehingga mengurangi pencemaran udara di lingkungan sekitar. Sedangkan, *bottom ash* merupakan padatan yang jatuh di dasar boiler pada proses pembakaran batubara dan akan ditampung di *ash hopper* (Afrian et al., 2015). Jumlah *fly ash* yang dihasilkan umumnya lebih banyak yaitu sekitar 80-90%, sedangkan *bottom ash* hanya sekitar 10–20% (Azka et al., 2023).

Karakteristik *fly ash* dan *bottom ash* yang dihasilkan dari pembakaran batubara berpengaruh terhadap potensi pembentukan lindi pada area penimbunan. Penelitian oleh Harian et al., (2025) menunjukkan bahwa FABA cenderung bersifat basa dan memiliki kandungan logam berat yang dapat terlarut ketika terpapar air dalam jangka panjang, khususnya pada kondisi curah hujan tinggi. Kandungan oksida seperti SiO_2 (45-65%), Al_2O_3 (20-30%), dan Fe_2O_3 (5-15%) pada FABA dipengaruhi oleh jenis dan kualitas batubara yang digunakan. Batubara dengan nilai kalori rendah cenderung menghasilkan *fly ash* berukuran partikel lebih halus dan bersifat lebih reaktif dibanding batubara dengan nilai kalori yang tinggi, hal tersebut dapat meningkatkan risiko kontaminasi jika tidak dikelola dengan baik karena oksida besi dapat meningkatkan pergerakan logam berat seperti Pb dan Cd melalui reaksi kimia saat terjadi perubahan pada pH (Putra et al., 2024).

Pengelolaan FABA pada area penimbunan pada dasarnya berfokus pada bagaimana lapisan-lapisan pelindung berfungsi menahan lindi yang bergerak dalam tanah tetap mengalir dalam area penimbunan sehingga tidak terjadi rembesan yang dapat mencemari lingkungan sekitar. Tanah liat yang memiliki permeabilitas rendah dipilih sebagai lapisan dasar karena mampu memperlambat pergerakan air. Ketika lapisan tanah berpermeabilitas rendah serta geomembran HDPE dapat menurunkan potensi rembesan air hingga lebih dari 90% (Yu & Rowe, 2018). Hal ini diperkuat oleh temuan Kusuma et al., (2022) yang menunjukkan bahwa campuran tanah dan FABA bisa memiliki karakter permeabilitas yang berbeda, sehingga

sistem drainase tambahan seperti pipa pengumpul lindi dibutuhkan untuk memastikan aliran lindi tetap terarah. Selain itu, faktor lingkungan seperti intensitas curah hujan dapat memicu perubahan kualitas air tanah (Schroeter et al., 2025).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dan deskriptif kuantitatif yang diawali dengan pengumpulan data sekunder untuk mengetahui sistem pengelolaan area penimbunan FABA yang diterapkan di PT. PLN Nusantara Power UP Paiton. Data tersebut meliputi struktur dan kualitas air tanah di area penimbunan FABA. Data tersebut kemudian diselaraskan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 19 Tahun 2021 tentang Tata Cara Pengelolaan Limbah Nonbahan Berbahaya dan Beracun serta Izin Landfill PT. PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Paiton SK.2/Menlhk/Setjen/PLB.3/1/2017 Lampiran VII. Analisis data dilakukan untuk memastikan sistem resirkulasi air di area penimbunan FABA PT. PLN Nusantara Power UP Paiton telah berjalan sesuai dengan fungsinya sehingga dapat mencegah air lindi keluar dari area penimbunan tanpa mencemari air permukaan dan air tanah disekitarnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Lapisan Area Penimbunan Limbah Non-B3

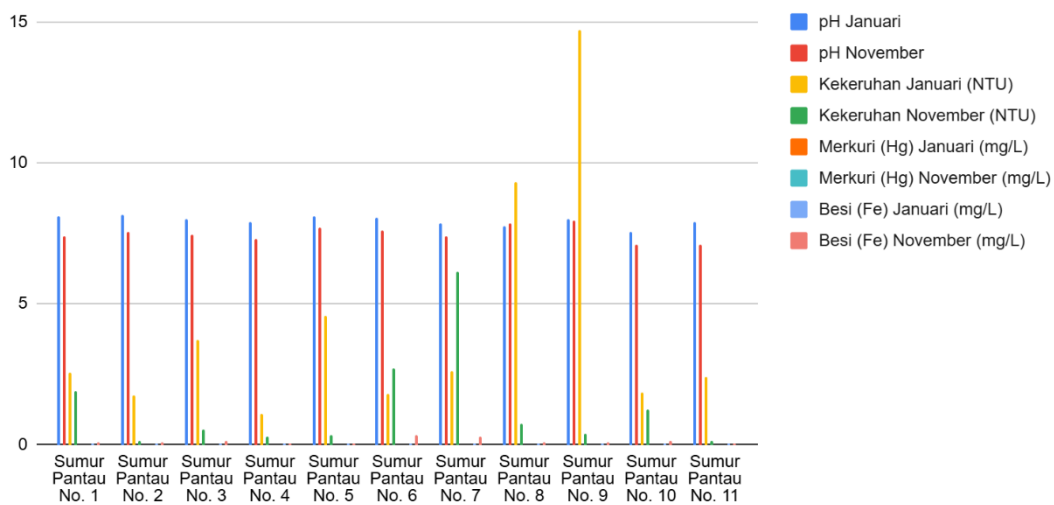
Tabel 1. Tabel Evaluasi Lapisan Area Penimbunan Limbah Non-B3

Komponen Lapisan	Ketentuan Permen LHK Nomor 19 Tahun 2021 Pasal 25	PT. PLN Nusantara Power UP Paiton	Keterangan
Lapisan dasar	Tanah lempung, $H \geq 1$ m, $K = 10^{-7} - 10^{-6}$ m/s	Tanah lempung, $H = 1$ m, $K = \leq 10^{-9}$ m/s	Sesuai
SPPL2 – Sistem pengumpulan & pemindahan lindi kedua	Tanah $H \geq 30$ cm, $K = 10^{-2}$ m/s	Tanah setempat, $H = 30$ cm, $K \geq 10^{-4}$ m/s + Pipa 1,5 inch dengan jarak 2 m	Sesuai, tetapi K tanah $\geq 10^{-4}$ m/s tidak menjamin mencapai 10^{-2} m/s
Lapisan tanah penghalang	Tanah liat, $H \geq 30$ cm, $K = 10^{-7}$ m/s	Tanah liat, $H = 70$ cm, permeabilitas 10^{-9} m/s + Geonet HDPE 1,5 mm	Sesuai
SPPL1 – Sistem pengumpulan & pemindahan lindi pertama	Tanah $H \geq 30$ cm, $K = 10^{-2}$ m/s	Tanah setempat, $H = 30$ cm, $K \geq 1 \times 10^{-4}$ m/s + Pipa 3 inch	Sesuai, tetapi K tanah $\geq 10^{-4}$ m/s tidak menjamin mencapai 10^{-2} m/s
Lapisan pelindung selama operasi	Tanah ≥ 30 cm	Tanah setempat, $H = 60$ cm + Geomembran HDPE 2 mm	Sesuai

(Sumber: Analisis data, 2025)

Berdasarkan tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa landfill FABA PT. PLN Nusantara Power UP Paiton sudah sesuai standar Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 19 Tahun 2021 Pasal 25 tentang pelapisan area penimbunan FABA. Meskipun tanah yang digunakan di Sistem Pengumpulan & Pemindahan Lindi (SPPL) memiliki konduktivitas hidraulik yang belum tentu mencapai ketentuan minimum, tetapi PT. PLN Nusantara Power UP Paiton menerapkan sistem perpipaan tambahan, yaitu pipa berdiameter 3 inci dan 1,5 inci. Penambahan pipa drainase ini berfungsi untuk memastikan lindi tetap dapat terkumpul dan dikeluarkan. Hal tersebut berdasarkan Surat Izin Landfill yaitu SK.2/Menlhk/Setjen/PLB.3/1/2017 Lampiran VII yang diterbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang menetapkan bahwa kombinasi material tanah dan sistem perpipaan di PT. PLN Nusantara Power UP Paiton sudah memenuhi fungsi sebagai pengendali rembesan lindi, sehingga struktur landfill dinilai aman bagi lingkungan sekitar. Pernyataan di atas diperkuat dengan hasil analisis kualitas air di sumur pantau.

Kualitas Air Tanah di Sumur Pantau



Gambar 1. Grafik Kualitas Air di Sumur Pantau

(Sumber: Analisis data, 2024)

Berdasarkan hasil analisis kualitas air di 11 sumur pantau, terlihat bahwa nilai pH pada bulan November sedikit menurun dibandingkan Januari, tetapi semuanya masih berada dalam batas yang aman untuk air tanah yaitu 6,5-8,5. Parameter merkuri (Hg) dan besi (Fe) menunjukkan kadar yang sangat rendah meskipun ada sedikit peningkatan di beberapa titik tetapi masih dalam batas aman. Jika dibandingkan dengan parameter lainnya, kadar kekeruhan (NTU) menunjukkan perubahan yang paling menonjol. Pada bulan Januari, data menunjukkan bahwa terjadi fluktuasi hebat. Namun, pada bulan November hanya beberapa sumur mengalami

peningkatan cukup besar, yaitu pada sumur pantau nomor 1, 6, dan 7 sehingga perlu terus dipantau agar tidak berkembang menjadi masalah kualitas air di kemudian hari. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh perubahan karakteristik tanah selama musim hujan yang dapat membuat tanah mengalami infiltrasi sehingga partikel halus ikut masuk ke dalam air tanah (Schroeter et al., 2025). Secara keseluruhan, kualitas air tanah masih dalam batas aman sesuai dengan SK.2/Menlhk/Setjen/PLB.3/1/2017 Lampiran VII yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang mengacu pada air tanah dengan tetap mempertimbangkan rona awal air di area tersebut.

Analisis Sistem Pengendalian Limpasan Air di Landfill FABA

Berdasarkan hasil evaluasi struktur area penimbunan FABA dan kualitas air tanah di sumur pantau menunjukkan data yang cukup baik. Selain itu, keberadaan kolam limpasan (*runoff pond*) membantu mengurangi beban aliran permukaan ketika hujan deras sehingga limpasan dari area penimbunan tetap dapat dikendalikan. *Runoff pond* merupakan kolam penampungan air yang dibangun untuk menampung air limpasan (*runoff*) yang mengalir di permukaan tanah ketika hujan turun (Irawan et al., 2024). Dalam kasus ini, *runoff pond* akan menampung air limpasan air lindi yang mengalir dari area penimbunan FABA. Data lapangan menunjukkan bahwa saluran drainase dan *runoff pond* tidak pernah mengalami *overflow*, sehingga tidak ada indikasi bahwa aliran air mengangkut material yang berpotensi mencemari sumur pantau. Dengan kata lain, sistem pengendalian limpasan dan resirkulasi bekerja sesuai dengan fungsinya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Secara keseluruhan, hasil analisis sistem pengelolaan air lindi yang dimiliki oleh PT. PLN Nusantara Power UP Paiton dapat dikatakan berjalan dengan baik, terutama struktur lapisan area penimbunan, kualitas air tanah di sumur pantau, dan kolam limpasan air (*runoff pond*). Hal tersebut selaras dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 19 Tahun 2021 tentang Tata Cara Pengelolaan Limbah Non Bahan Berbahaya dan Beracun serta SK.2/Menlhk/Setjen/PLB.3/1/2017 Lampiran VII yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Meskipun tanah yang digunakan di Sistem Pengumpulan & Pemindahan Lindi (SPPL) memiliki konduktivitas hidrolik yang belum tentu mencapai ketentuan minimum tetapi PT. PLN Nusantara Power UP Paiton menerapkan sistem perpipaan tambahan, yaitu pipa berdiameter 3 inci dan 1,5 inci agar air lindi tetap terkumpul dan dapat

dikeluarkan. Lapisan area penimbunan FABA berfungsi dengan baik dalam menahan pergerakan lindi, sehingga dapat mengurangi risiko bocoran ke air tanah. Hal ini ditunjukkan oleh data kualitas air sumur pantau, di mana perubahan parameter seperti pH, Fe, Hg, dan kekeruhan masih dalam batas aman. Namun, peningkatan kadar kekeruhan pada beberapa sumur harus diperhatikan karena meskipun tidak melebihi batas baku mutu, hal tersebut dapat menimbulkan risiko jika tidak dikendalikan. Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan preventif seperti peningkatan frekuensi pemantauan.

DAFTAR REFERENSI

- Afrian, Noza., Firdaus, & Ervianto, Edy. (2015). Analisa Kinerja Electrostatic Precipitator (ESP) Berdasarkan Besarnya Tegangan DC yang Digunakan terhadap Perubahan Emisi di Power Boiler Industri Pulp And Paper. *Jom FTEKNIK*, Vol. 2 No.2.
- Azam, M., Setoodeh Jahromy, S., Raza, W., Wesenauer, F., Schwendtner, K., & Winter, F. (2019). *Comparison of the Characteristics of Fly Ash Generated from Bio and Municipal Waste: Fluidized Bed Incinerators*. *Materials*, 12(17), 2664. <https://doi.org/10.3390/ma12172664>
- Azka, C. N., Rani, H. A., & Katami, T. M. R. (2023). *Characteristic of Asphalt Mixture using Fly Ash and Bottom Ash Substitution in Reducing Environment Pollution*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1140(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1140/1/012018>
- Harian, D., Indah, S., & Nur, A. (2025). Persebaran Logam Pb dalam Air Tanah di Sekitar Area Penimbunan Abu Batu Bara pada Lahan Bekas Tambang Kota Sawahlunto. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 14(2), 254–263. <https://doi.org/10.23887/jst-undiksha.v14i2.84442>
- Irawan, P., Handiman, I., Sari, N. K., Nurrahma, F. A., Herianto, H., Setiawan, J., & Hidayat, A. K. (2024). Efektivitas Kolam Retensi Untuk Pengendalian Banjir di Ruas Jalan Dr. Moh. Hatta Sukamanah Kota Tasikmalaya. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 20(2), 120–135. <https://doi.org/10.25077/jrs.20.2.120-135.2024>
- Izin Landfill PT. PLN Nusantara Power Unit Pembangkitan Paiton SK.2/Menlhk/Setjen/PLB.3/1/2017.
- Kusuma, H., Alkas, M. J., & Sutanto, H. (2022). Analisis Nilai CBR Campuran Faba dan Semen Sebagai Material Timbunan Pilihan. *Teknologi Sipil : Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.30872/ts.v6i1.7718>
- Pangestuti, E. K., Bagaskara, P., & Heriyanto, F. R. (2023). Pengaruh Fly Ash Dan Bottom Ash (Faba) PLTU sebagai Campuran Paving Blok ditinjau terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 2(2), 48–57. <https://doi.org/10.56911/jik.v2i2.80>

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 19 Tahun 2021 tentang Tata Cara Pengelolaan Limbah Nonbahan Berbahaya dan Beracun.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Putra, M. S. N., Prasajo, A. E., Budiman, A., Anty, M. Z., & Hasnowo, L. A. (2024). *Comparative Analysis of FABA Waste Composition in Various Coal-Fired Power Plant Industries in Several Countries and Indonesia: A Review*. *Indonesian Journal of Chemical Studies*, 3(2), 82–89. <https://doi.org/10.55749/ijcs.v3i2.58>
- Saad, M., & Purnamasari, I. (2022). Pemberdayaan Usaha Budidaya Ikan Lele dengan Teknologi Fitoremediasi Menggunakan Ipomoea Aquatica (Kangkung) dengan Sistem CRS (Close Resirculation System). *Indonesian Journal of Fisheries Community Empowerment*, 2(2), 99–105. <https://doi.org/10.29303/jppi.v2i2.594>
- Schroeter, S. A., Orme, A. M., Lehmann, K., Lehmann, R., Chaudhari, N. M., Küsel, K., Wang, H., Hildebrandt, A., Totsche, K. U., Trumbore, S., & Gleixner, G. (2025). Hydroclimatic extremes threaten groundwater quality and stability. *Nature Communications*, 16(1), 720. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-55890-2>
- Vedran, M., Jasna, P.-O., Šegota Sandi, B., & Igor, P. (2023). *Energy Analysis of Main and Auxiliary Steam Turbine from Coal Fired Power Plant*. *International Scientific Journal "Trans & Motauto World"* 1, 28–31.
- Wilmer, J., Seames, W., Bazile, D., Smith, K. L., Koster, B., Mauch, G., & Weimer, L. (2022). *Evaluating the Technical and Economic Feasibility of Adding a Power Recovery System to the Steam Condenser of a Lignite Coal-Fired Power Plant*. *Journal of Power and Energy Engineering*, 10(11), 16–34. <https://doi.org/10.4236/jpee.2022.1011002>
- Yu, Y., & Rowe, R. K. (2018). *Development of geomembrane strains in waste containment facility liners with waste settlement*. *Geotextiles and Geomembranes*, 46(2), 226–242. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2017.11.004>