

Efektivitas Fitoremediasi Limbah Pabrik Kerupuk Menggunakan Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*) dan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*) dalam Menurunkan BOD dan COD

Abdul Qodir Al Qohar¹, Ardhana Rahmayanti^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo, Indonesia.

Abstrak

Mayoritas industri kerupuk skala kecil di Sidoarjo menghasilkan limbah cair dengan kadar BOD dan COD tinggi yang berpotensi mencemari perairan. Teknologi fitoremediasi dengan eceng gondok dan kayu apu diperlukan untuk mengatasi masalah ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peranan eceng gondok dan kayu apu untuk menurunkan kadar BOD dan COD dalam air limbah industri kerupuk, serta pengaruh waktu detensi. Metode fitoremediasi digunakan dengan menyesuaikan jumlah tanaman di tiga reaktor batch: reaktor 1 dengan 10 batang kayu apu, reaktor 2 dengan 10 batang eceng gondok, dan reaktor 3 dengan masing-masing 5 batang kayu apu dan eceng gondok. Efisiensi terbaik tercapai dengan kayu apu, dengan penurunan BOD 98% dan COD 97% di reaktor 1.

Kata kunci

BOD; COD; Eceng gondok; Fitoremediasi; Kayu apu; Limbah Cair; Teknik Lingkungan

Abstract

Most small-scale cracker industries in Sidoarjo produce liquid waste with high BOD and COD levels, which have the potential to pollute water. Phytoremediation technology with water hyacinth and apu wood is needed to overcome this problem. This research aims to determine the role of water hyacinth and apu wood in reducing BOD and COD levels in cracker industry wastewater and the effect of detention time. The phytoremediation method was used by adjusting the number of plants in three batch reactors: reactor 1 with 10 apu wood stems, reactor 2 with 10 water hyacinth stems, and reactor 3 with 5 each apu wood and water hyacinth stems. The best efficiency was achieved with apu wood, with a reduction in BOD of 98% and COD of 97% in reactor 1.

Keywords

Apu wood; BOD; COD; Environmental Engineering; Liquid waste; Phytoremediation; Water hyacinth

Korespondensi
Ardhana Rahmayanti
ardhana.tkl@unusida.ac.id

Pendahuluan

Sidoarjo yaitu salah satu kabupaten yang memiliki jumlah UMKM/UKM cukup banyak. Jumlah keseluruhan sekitar 206.000 Usaha Kecil Menengah (UKM) serta 6 ribu Usaha Mikro, Kecil, Dan Menengah (UMKM). Industri kerupuk merupakan salah satu jenis UMKM/UKM yang tersebar di beberapa wilayah di Sidoarjo. Hampir 50% perusahaan yang bergerak di bidang industri kerupuk masih berupa industri rumahan dan kecil. Sebagian besar industri yang tidak mempunyai instalasi pengelolaan limbah, membuang limbah cair langsung ke dalam selokan atau badan air tanpa pengolahan, menyebabkan pencemaran lingkungan, termasuk sebaran kadmium pada air dan tanah yang berdampak negatif terhadap kesehatan dan ekosistem (Fitriana *et al.*, 2022). Jumlah serta sifat air limbah industri berbagai macam dari satu industri ke industri lainnya (Departement Perindustrian, 2007). Pada manajemen energi, pencemaran lingkungan dapat dicegah dengan pengolahan limbah yang tepat sebelum pembuangan, menekankan pentingnya sistem pengelolaan yang efisien dan bertanggung jawab (Meiryani *et al.*, 2023). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 baku mutu air limbah adalah COD 100 mg/L, BOD 50 mg/L.

Limbah cair bisa diolah secara fisik, kimiawi maupun biologis. Pengolahan biologis dengan mikroorganisme dan tumbuhan tingkat tinggi. Tujuannya untuk memulihkan tanah serta air tercemar memiliki komponen mikro mengandung racun serta zat organik dari tercemarnya limbah industri bersifat cair, salah satu cara pengolahannya dilakukan dengan tanaman eceng gondok dan kayu apu. Beberapa tanaman secara alami memiliki efisien saat melakukan penyerapan bahkan akumulasi adanya logam mengandung racun bahkan zat organik pada jaringan tanaman dan harganya relatif murah (Environmental Protection Agency, 1989).

Teknologi terbaru dalam Revolusi Industri Keempat di Indonesia menggunakan berbagai tanaman untuk fitoremediasi, membersihkan dan mengekstrak polutan dari tanah serta air, mendukung pembangunan berkelanjutan (Purnomo *et al.*, 2021). Teknologi fitoremediasi, yang berkinerja baik dalam menangani tingkat polusi rendah atau sedang, dapat terintegrasi efektif dalam aplikasi Kota Cerdas untuk meningkatkan kualitas lingkungan (Kalleya *et al.*, 2023). Selama rangkaian remediasi, tanaman melewati pindahan dari bahan kimia yang bahaya berasal dari akar dengan menyerap air serta kandungan dari tanah, sungai, bahkan bawah tanah yang telah terkontaminasi. Tanaman akan menyerap bahan kimia kemudian dilakukan penyimpanan pada akar, daun, serta batang kemudian mengubahnya sebagai bahan kimia yang tidak terlalu bahaya pada wujud gas kemudian dilakukan pelepasan pada udara penguapan (Schnoor, 2002). Mekanisme fitoremediasi meliputi fitodegradasi, fitoekstraksi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi, serta rizofiltrasi (Priyanto and Prayitno, 2004).

Karakteristik air limbah kerupuk sebelum pengolahan serta keadaan pertama (0 hari) yaitu pH = 6, TSS = 300,40 ppm, Amoniak (NH₃- N) = 19,125 ppm, Sulfida (H₂S) = 0,637 ppm. Tergantung sifat air limbah industri kerupuk, yang mengandung TSS (*Total Suspended Solid*) pada limbah itu bisa menimbulkan lumpur/sedimen dalam badan air, kemudian dalam senyawa amonium (NH₃) berasal dari molekul protein bahan organik. limbah dan bakteri dipecah selama proses amonifikasi. Namun, gas hidrogen sulfida (H₂S) dalam limbah adalah gas memiliki bau busuk didapatkan dari bakteri anaerob yang mengurai senyawa belerang dalam bahan organik dan ditemukan dalam air tercemar serta tak memiliki kandungan oksigen yang larut (Abdulgani, 2013).

Jumlah limbah cair bisa didapatkan adanya industri kerupuk kulit dengan kategori besar, digunakan mencapai 100-150 kg per hari, maka akan mendapatkan limbah cair dengan kategori besar, adalah sekitar 50,55 m³/hari serta sebagian besar didapatkan adanya air melalui rangkaian mencuci, merebus, dan membuang cairan dari adanya cairan padat serta dalam suatu rangkaian produksi. Ciri fisik limbah cair kerupuk kulit mengandung lemak, bulu-bulu bahkan kulit berwarna kecoklatan. Limbah cair tersebut mengandung kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 66 mg/l dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) sebesar 50,3 mg/l. Kontak dengan limbah cair langsung dilakukan pembuangan bisa menyebabkan bau menyengat serta tercemarnya air bisa membunuh ikan serta organisme lain (Sholehah, 2022).

Pada upaya keberlanjutan, tanaman eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) sebagai agen fitoremediasi efektif dapat diterapkan untuk mengurangi kontaminan dalam limbah cairan tahu, menunjukkan strategi yang ramah lingkungan

dalam mengelola limbah industri (Atma, 2022; Maulana *et al.*, 2022). Tanaman eceng gondok mempunyai keahlian agar melakukan penyerapan bahan organik pada air dengan bagian tanamannya, serta eceng gondok mempunyai daun lebar dan batang memiliki rongga, maka tanaman ini memiliki penyerapan limbah cair tahu yang tinggi serta memiliki efektivitas dalam penyerapan zat beracun. Efektivitas fitoremediasi diterapkan melalui tanaman eceng gondok serta kangkung air saat adanya penurunan kadar BOD serta TSS dalam limbah cair industri tahu menghasilkan penurunan kadar TSS dan BOD (Ahmad and Adiningsih, 2019).

Tanaman lainnya yang dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi dalam untuk meminimalisir kontaminan pada limbah cair tahu yaitu kayu apu (Rismawati, Thohari and Rochmalia, 2020). Kayu apu memiliki akar serabut dengan rambut akar yang lebat, sehingga tanaman ini mudah untuk menampung dan menyerap polutan yang mencemari air (Mohd Nizam *et al.*, 2020). Kayu apu memiliki kemampuan untuk mengolah limbah berupa logam berat, zat organik dan anorganik, serta kayu apu dapat menurunkan jumlah BOD, COD dan zat organik pada limbah (Mediapro, 2021). Pemakaian kayu apu menjadi fitoremediator bisa mengurangi kontaminan yang berada pada kandungan limbah cair tempe (Rohmawati, 2016). Pemakaian kayu apu menjadi agen fitoremediasi limbah cair tempe bisa mengalami peningkatan pada oksigen terlarut (DO) pada air serta mengalami peningkatan derajat keasaman (pH) limbah cair tempe sebagai nilai pH normal.

Berdasarkan penjelasan dari beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan teknologi fitoremediasi pada limbah cair industri terutama pada industri pangan seperti industri tempe dan tahu, limbah cair dari industri kerupuk merupakan limbah industri yang bahannya berupa bahan pangan dan bahan organik bisa memicu tumbuhnya mikroba secara cepat di perairan. Hal tersebut memicu penurunan kandungan oksigen air secara tajam, setelah itu limbah cair yang dihasilkan saat kulit terbelah memiliki kandungan padatan tersuspensi yang membuat air yang kotor maupun keruh (Rahadian, Sutrisno and Sumiyati, 2017).

Penelitian berupa pengukuran kinerja organisasi dengan menggunakan integrasi (Fauzia and Usada, 2023) dan efektivitas tanaman mangrove *rhizophora mucronata* dan bakteri (Khoiriyah and Widiyanti, 2023) telah dilaksanakan. Namun, penelitian terkait efektivitas fitoremediasi limbah pabrik kerupuk menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan kayu apu (*Pistia stratiotes*) dalam menurunkan BOD dan COD belum banyak dilakukan. Efektivitas penggunaan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) serta tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes*) diuji coba pada penurunan parameter BOD dan COD dalam air limbah industri kerupuk. Maka, pada penelitian ini nantinya menerapkan teknologi fitoremediasi dengan sistem batch pada waktu operasi 4, 7, 10 hari digunakan agar mengalami penurunan konsentrasi kandungan kadar BOD serta COD yang terkandung pada limbah cair industri kerupuk memakai tanaman eceng gondok serta kayu apu.

Metode

Variabel yang diterapkan pada penelitian ini meliputi variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas saat meneliti menerapkan tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebanyak 10 batang serta tanaman kayu apu (*Pistia stratiotes* L) sebanyak 10 batang dan kombinasi, menggunakan sistem aliran batch dan menggunakan variasi waktu detensi 4, 7, 10 hari. Variabel terikat pada saat meneliti yaitu efisiensi turunnya kadar BOD dan COD. Peralatan yang dipakai saat meneliti yaitu 3 buah bak memiliki diameter 50cm dan tinggi 30cm serta alat-alat ukur laboratorium untuk pengujian BOD dan COD. Sedangkan bahan yang dipakai saat meneliti yaitu tanaman eceng gondok, tanaman kayu apu serta limbah cair kerupuk.

Terdapat 3 rancangan penelitian yakni tahap persiapan, tahap pelaksanaan, dan tahap analisis data. Tahapan persiapan meliputi mengaklimatisasi tanaman terpilih dan menyiapkan tiga reaktor berdiameter 50 cm serta tinggi 30 cm, masing-masing diisi dengan 10 L limbah cair kerupuk yang diambil dari industri menggunakan jerigen. Tahap pelaksanaan melibatkan mengisi bak yang telah disiapkan dengan 10-liter air limbah kerupuk dan menempatkan tanaman eceng gondok serta kayu apu yang dipilih berdasarkan kesamaan karakteristik fisik seperti lebar dan panjang daun, serta panjang akar dan batang, ke dalam bak tersebut. Pada tahap analisis data, data didapatkan nantinya dikelola

menjadi tabel dan grafik pada tahap pelaksanaan untuk diolah guna mencapai tujuan penelitian. Hal ini menunjukkan efisiensi tanaman dalam menyisihkan BOD dan COD.

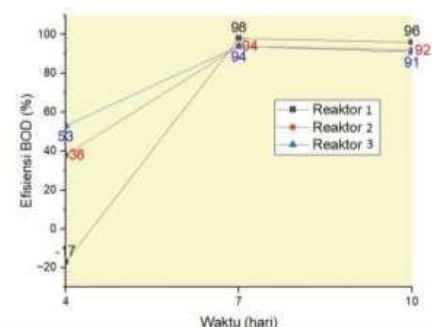
Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Uji *Biological Oxygen Demand* (BOD)

Penelitian utama berupa tahapan fitoremediasi dengan menerapkan sistematika batch, dimana air limbah industri kerupuk waktu kontak 10 hari penelitian. Limbah cair dipakai dengan berupa limbah cair industri kerupuk dihasilkan dari UD. X di Sidoarjo, sampel limbah industri kerupuk diuji saat meneliti memiliki konsentrasi limbah optimal tak menimbulkan kematian pada tumbuhan eceng gondok serta kayu apu. Prosedur penelitian ini, yaitu menyiapkan bak reaktor berbahan plastik yang memiliki ukuran diameter 50cm dan tinggi 30cm, reaktor yang di gunakan berjumlah 3 unit. Satu unit reaktor berisi tanaman eceng gondok, satu unit berisi tanaman kayu apu, satu reaktor kombinasi berisi eceng gondok dan kayu apu. Misalnya diperlihatkan dalam Gambar 3.1 reaktor ini menggunakan sistem aliran batch. Melalui mengambil limbah serta tanaman, aklimatisasi tanaman selama 7 hari, bertujuan untuk mengetahui keahlian tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) serta kayu apu (*Pistia stratiotes*) saat beradaptasi dan bertahan hidup di lingkungan yang baru. Karena, tujuan aklimatisasi adalah untuk menstabilkan dan menyesuaikan kondisi lingkungan tanaman secara bertahap. Proses uji pendahuluan dilakukan di laboratorium Teknik Lingkungan ITS untuk parameter BOD dan COD, sedangkan uji kualitas akhir dilakukan di DLHK Sidoarjo dan laboratorium Teknik Lingkungan UNUSIDA untuk parameter BOD dan COD.

Pengambilan sampel dilakukan pada waktu detensi 4, 7, 10 hari setelah aklimatisasi. Pengukuran BOD dilakukan untuk 3 reaktor. Reaktor 1 kayu apu, reaktor 2 eceng gondok, reaktor 3 kombinasi antara kayu apu dan eceng gondok. Nilai BOD paling rendah dihari ke-10 memiliki reaktor 1 yang memiliki konsentrasi BOD sebesar 6 mg/L. Nilai BOD tertinggi pada hari ke-10 terdapat pada reaktor 3 yaitu senilai 16 mg/L, namun masih memenuhi baku mutu. Hal tersebut memperlihatkan tanaman eceng gondok serta kayu apu dengan waktu detensi 10 hari berpengaruh terhadap proses penurunan BOD dari limbah industri kerupuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan konsentrasi BOD akibat proses filtrasi akar, yang memanfaatkan kemampuan akar tanaman untuk menyerap, mengendapkan dan mengakumulasi polutan dalam air limbah, yang terjadi selama pengolahan dengan tanaman. Peningkatan konsentrasi BOD juga disebabkan adanya tambahan bahan organik dari akar tanaman yang membusuk dan daun busuk yang terendam dalam air limbah, yang kemudian terurai di tangki laboratorium dan melepaskan nutrisi untuk pertumbuhan tanaman, sekaligus mengurangi jumlah oksigen terlarut untuk sementara waktu (Mashadi, 2018). Tanaman berhenti tumbuh karena air limbah kehilangan air akibat penyerapan tanaman dan penguapan alami. Selain itu, terjadi proses dekomposisi tanaman atau kontaminan organik yang telah diserap akar tanaman dan mengalami dekomposisi oleh proses metabolisme mikroba, yang kemudian terjadi proses reduksi polutan, khususnya penguapan tanaman, yaitu penyerapan polutan oleh tanaman. dimana tanaman menyerap air yang mengandung kontaminan organik, yang kemudian dilepaskan ke udara melalui daun setelah dekomposisi tanaman, dan polutan ini dilepaskan sebagai uap air ke 'atmosfer' tanaman. Proses ini cocok untuk menghilangkan polutan organik.

Berdasarkan hasil pengukuran hasil uji parameter BOD, keefektifan beberapa parameter selama waktu kontak 10 hari, di hari ke-7 dan ke-10, menunjukkan bahwa pengujian dengan metode fitoremediasi sistem batch dalam baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 menyebutkan kadar BOD yang diberikan izin pembuangan ke badan air sebesar 50 mg/L. Sedangkan menurut hasil penelitian, lama waktu detensi tumbuhan dengan air limbah industri kerupuk pada reaktor, 1, 2 dan 3 di hari ke-4 masih di atas baku mutu, sehingga air limbah tersebut masih belum layak untuk dibuang ke saluran pembuangan dikarenakan kadar BOD masih melebihi ambang batas. Namun, pada hari ke-7 hingga hari ke- 10 konsentrasi air limbah sudah mencapai baku mutu.

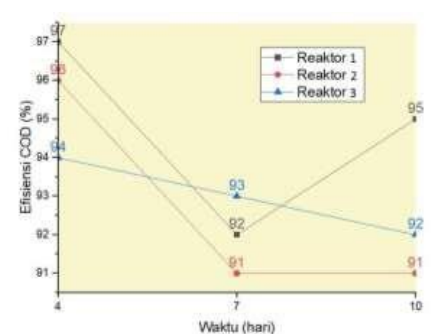


Gambar 1. Efisiensi Penyisihan BOD

Pada gambar 1, reaktor 1 yang berisi kayu apu memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu mencapai 98%. Nilai BOD juga dipengaruhi oleh adanya vegetasi yang menutupi permukaan air limbah. Keberadaan tumbuhan tersebut dapat menyerap bahan organik dalam air limbah. Semakin banyak tumbuhan maka semakin banyak bahan organik yang dapat diserap dan semakin sedikit mikroorganisme yang diperlukan untuk mengurai bahan organik tersebut. Semakin sedikit bahan organik yang terurai oleh mikroorganisme, semakin tinggi kandungan oksigen dalam air limbah. Oksigen terlarut dalam air limbah juga meningkat karena input oksigen dari fotosintesis tanaman. Nilai BOD dipengaruhi oleh adanya vegetasi yang menutupi permukaan air limbah. Keberadaan tanaman tersebut akan menyerap bahan organik yang ada di dalam limbah. Jadi, semakin banyak tanaman maka semakin kecil nilai BOD yang berarti semakin baik kualitas air limbahnya (Fachrurozi, 2010).

B. Hasil Uji *Chemical Oxygen Demand* (COD)

Pengambilan sampel dilakukan pada waktu detensi 4, 7, 10 hari. Pengukuran COD dilakukan untuk 3 reaktor. Reaktor 1 kayu apu, reaktor 2 eceng gondok, reaktor 3 kombinasi antara kayu apu dan eceng gondok. Hasil uji parameter COD menunjukkan bahwa setelah kontak 10 hari, semua reaktor masih belum memenuhi baku mutu. Perubahan konsentrasi COD pada semua perlakuan menunjukkan bahwa COD meningkat tetapi menurun pada hari ke-4 dan meningkat lagi hingga hari ke-10. Perlakuan terbaik untuk menurunkan nilai COD adalah pada perlakuan reaktor 1 dengan nilai COD 115,2mg/L, meskipun masih diatas baku mutu. Peningkatan konsentrasi COD pada awalnya disebabkan oleh paparan limbah, tanaman mengalami kondisi stres. Tanaman akan menghasilkan eksudat yang akan meningkatkan limbah biodegradable di dalam air, sehingga limbah beracun pada awalnya akan diubah menjadi limbah biodegradable (Santoso, 2014). Banyak faktor yang dapat dikaitkan dengan penurunan BOD dan COD. Kemampuan untuk mengangkut oksigen dari bagian udara ke bagian yang terendam adalah fitur unik dari tanaman Air. Oksigen yang diangkut kemudian akan secara signifikan meningkatkan kandungan oksigen air. Oksigen yang diangkut ke zona akar juga berperan penting dalam mendukung pertumbuhan bakteri aerob yang tumbuh subur di zona akar dan karbon dalam air limbah akan terdegradasi selanjutnya. Selain itu, padatan tersuspensi yang lebih besar dalam limbah dapat memberikan substrat tambahan untuk aktivitas mikroba di akar tanaman air (Tan, 2019).



Gambar 2. Efisiensi Penyisihan COD

Hasil analisis menunjukkan bahwa reaktor 1 yang berisi dan kayu apu mencapai nilai efisiensi 97%. Menurut Rahadian et al., menunjukkan bahwa dari karakteristik panjang akar dan banyaknya jumlah tumbuhan Kayu Apu dapat mempengaruhi pada proses penyisihan kandungan COD dari limbah, hasil penyisihan COD sudah di bawah baku mutu air limbah. Proses penyisihan kadar COD yang telah dilakukan tumbuhan Kayu Apu, menjelaskan bahwa hal ini dikarenakan oksigen yang dihasilkan selama proses fotosintesis yang kemudian dilepaskan ke dalam air atau air limbah yang dapat mengoksidasi zat-zat organik.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap penurunan konsentrasi BOD dan COD dengan menggunakan tanaman eceng gondok dan kayu apu, hasil uji parameter BOD menunjukkan penurunan dari hari ke-7 sampai hari ke-10 dengan nilai BOD terendah 6 mg/L pada reaktor 1 pada hari ke-10 dan sebagian besar memenuhi baku mutu, sedangkan hasil uji parameter COD tidak ada yang memenuhi baku mutu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014. Efisiensi penggunaan kayu apu yang paling baik ditunjukkan oleh hasil efisiensi BOD dan COD pada reaktor 1 yang berisi kayu apu diperoleh nilai yang besar dengan efisiensi BOD sebesar 98% sedangkan sebesar COD 97%.

Konflik Kepentingan

Tidak ada potensi konflik kepentingan yang relevan dengan artikel ilmiah penelitian ini.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo atas dukungan pelaksanaan penelitian.

Daftar Pustaka

Abdulgani, H. (2013) 'Pengolahan Limbah Cairindustri Kerupuk dengan Sistem Subsurface Flow Constructed Wetland Menggunakan Tanaman Typha Angustifolia', in *Seminar nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*.

Ahmad, H. and Adiningsih, R. (2019) 'Efektivitas Metode Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok dan Kangkung Air dalam Menurunkan Kadar BOD dan TSS pada Limbah Cair Industri Tahu', *Jurnal Farmasetis*, 8(2), pp. 31–38. Available at: <https://doi.org/10.32583/farmasetis.v8i2.599>.

Atma, D.A. (2022) 'Efektifitas Penurunan Kadar COD, BOD, TSS dan pH Menggunakan Metode Kombinasi Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok dengan Filtrasi Menggunakan Karbon Aktif dan Silika Pada Air Limbah Domestik', *Pelita Teknologi*, 17(1), pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.37366/pelitatekno.v17i1.1105>.

Departement Perindustrian (2007) *Gambaran Sekilas Industri Minyak Kelapa Sawit*.

Environmental Protection Agency (1989) *Indoor Air Facts No.4 (revised) Sick Building Syndrome (SBS)*. United States: Environmental Protection Agency:

Fauzia, Y. and Usada, U. (2023) 'Pengukuran Kinerja Organisasi dengan Menggunakan Integrasi Metode Balanced Scorecard dan Analytical Hierarchy Process', *Nusantara Technology and Engineering Review*, 1(1), pp. 10–18. Available at: <https://doi.org/10.55732/nter.v1i1.1069>.

Fitriah, L. et al. (2022) 'Distribution Mapping of Cadmium on Water and Soil in Rice Fields Around The Industrial Area of Sidoarjo Regency', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1030(1), p. 012015. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1030/1/012015>.

- Kalleya, C. *et al.* (2023) 'Smart City Applications: A Patent Landscape Exploration', *Procedia Computer Science*, 227, pp. 981–989. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.607>.
- Khoiriyah, L. and Widiyanti, A. (2023) 'Efektifitas Tanaman Mangrove Rhyzopora Mucronata dan Bakteri dalam Menurunkan Kadar Salinitas Air Payau', *Nusantara Technology and Engineering Review*, 1(1), pp. 1–9. Available at: <https://doi.org/10.55732/nter.v1i1.1068>.
- Maulana, F.I. *et al.* (2022) 'A Retrospective of International Research on IoT for Sustainability in Agricultural', in *7th North American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Orlando, USA: IEOM Society International.
- Mediapro, J.F. (2021) *Tanaman Pepohonan Untuk Menjernihkan dan Menetralsir Air Limbah Beracun Berbahaya Dari Kawasan Perairan Laut Sungai Danau*. Jannah Firdaus Mediapro Publishing.
- Meiryani, M. *et al.* (2023) 'Corporate Energy Management Disclosure: Empirical Evidence from Indonesia Stock Exchange', *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(2), pp. 516–525. Available at: <https://doi.org/10.32479/ijeep.14059>.
- Mohd Nizam, N.U. *et al.* (2020) 'Efficiency of Five Selected Aquatic Plants in Phytoremediation of Aquaculture Wastewater', *Applied Sciences*, 10(8), p. 2712. Available at: <https://doi.org/10.3390/app10082712>.
- Priyanto, B. and Prayitno, J. (2004) 'Fitoremediasi sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran, Khususnya Logam Berat', *Jurnal Informasi Fitoremediasi* [Preprint].
- Purnomo, A. *et al.* (2021) 'Fourth Industrial Revolution in Indonesia: Lesson from Literature Mapping through Bibliometric Review', in *2nd Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Surakarta, Indonesia: IEOM Society International.
- Rahadian, R., Sutrisno, E. and Sumiyati, S. (2017) 'Efisiensi Penurunan COD dan TSS dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L) Studi Kasus: Limbah Laundry', *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3).
- Rismawati, D., Thohari, I. and Rochmalia, F. (2020) 'Efektivitas Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes* L.) dalam Menurunkan Kadar BOD5 dan COD Limbah Cair Industri Tahu', *Jurnal Penelitian Kesehatan 'SUARA FORIKES' (Journal of Health Research 'Forikes Voice')*, 11(2), p. 186. Available at: <https://doi.org/10.33846/sf11219>.
- Rohmawati, I.T. (2016) 'Efektivitas Tanaman Kayu Apu (*Pistia stratiotes*) dan Kiambang (*Salvina molesta*) dalam Penurunan Orthofosfat Pada Limbah Cair Industri Tempe'.
- Schnoor, J.L. (2002) *In Phytoremediation of Soil and Groundwater. Groundwater Remediation Technologies Analysis Center*.
- Sholehah, H. (2022) 'Fitoremediasi Limbah Cair Kerupuk Kulit Menggunakan Tanaman Air Kayu Apu (*Pistia Stratiotes*)', *Jurnal Sanitasi dan Lingkungan (JSL)*, 3(1).