Journal Purifikasi
DOI: https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i1.502

RESEARCH ARTICLE / REVIEW ARTICLE

OPEN ACCESS

Check for updates

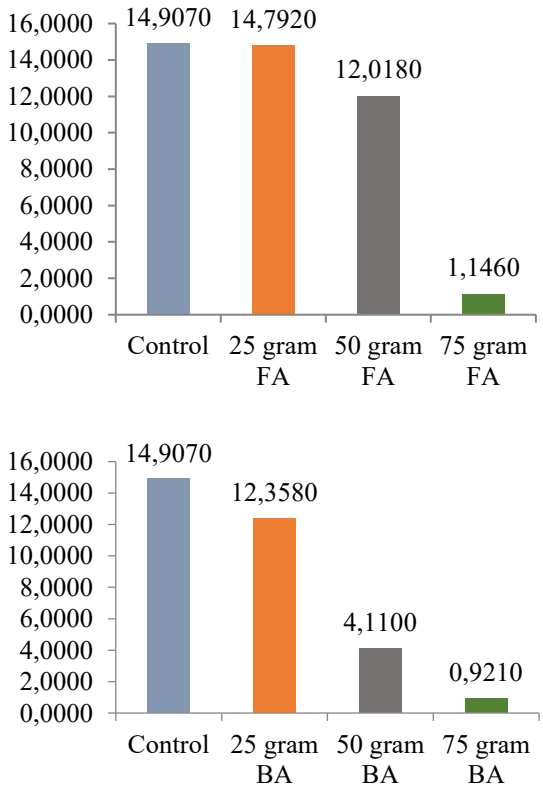
EFEKTIVITAS LIMBAH PLTU: PENGGUNAAN *FLY ASH* DAN *BOTTOM ASH* SEBAGAI ADSORBEN UNTUK MENURUNKAN KANDUNGAN TSS LIMBAH CAIR TAHU

Wiwin Rewini Kunusa[1)], Risti Ristianingsih Badu[2*)], Nur Inda R Umadji[2)], Mulyani Zahra Paramata[3)], Rahmi I. Ibrahim[2)]

[1)] Kimia, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, 96128
[2)] Teknik Lingkungan, Universitas Nahdlatul Ulama Gorontalo, Gorontalo, 96112
[3)]Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, 96128

Article history
Received
26 July 2025
Received in revised form
27 July 2025
Accepted
27 July 2025
Published online
29 July 2025
*Corresponding author
rristianingsih.badu@gmail.com.

Graphical abstract



ABSTRAK

This study examines the effectiveness of coal combustion waste, namely Fly ash and Bottom ash, as adsorbents to reduce Total Suspended Solids (TSS) in tofu industry liquid waste. The main objective is to evaluate the performance of both adsorbents with dosage variations (25, 50, and 75 grams) and to compare the TSS removal efficiency. The quantitative experimental method was applied by activating Fly ash and Bottom ash, then processing the waste samples through sedimentation and filtration. The results showed a significant reduction in TSS, where Bottom ash achieved an efficiency of 94% (0.921 mg/L) at a dose of 75 grams, superior to Fly ash, which reached 92% (1.146 mg/L). Fly ash requires a higher dose for equivalent results, confirming the advantages of Bottom ash in terms of porosity and hydraulic conductivity for large-scale applications. Both adsorbents meet Indonesian wastewater quality standards, proving their practical feasibility. In this study, the Bottom ash adsorbent is resistant to clogging and has a low cost because it utilizes abundant PLTU waste. This study offers an environmentally friendly solution for processing tofu waste while recycling coal ash, which is in line with the principles of a circular economy.

Kata Kunci: ***Adsorption, Bottom ash, Fly ash, Tofu Liquid Waste, TSS.***

Copyright ©2026 Institut Teknologi Sepuluh Nopember, All rights reserved

Corresponding Author: Badu, Rizki Ristianingsih

rristianingsih.badu@gmail.com.

Environmental Engineering Department, Faculty of Civil Planning and Geo Engineering Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

1. INTRODUCTION

Berdasarkan laporan inventarisasi GRK terbaru dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), subsektor pembangkit listrik menyumbang 47,8% dari total emisi sektor energi Indonesia. Pada tahun 2022, bahan bakar batubara dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menyumbang 67%. Emisi sektor energi dari PLTU paling tinggi di antara teknologi pembangkit energi berbasis bahan bakar fosil. Di Indonesia, karena cadangan batubara dalam negeri yang melimpah, harga batubara yang relatif murah, dan kebijakan harga batubara yang diterapkan sejak tahun 2018, PLTU menjadi sumber listrik utama di Indonesia (Bagaskara dkk., 2023).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Gorontalo masih menggunakan batu bara sebagai sumber energi utama. Sektor energi mengalami banyak perubahan. Seiring meningkatnya tekanan global untuk menurunkan emisi gas rumah kaca dan mempercepat transisi ke energi terbarukan (Wijaya dkk., 2025). Proses pembakaran batu bara di PLTU dapat menghasilkan limbah padat utama yaitu *Fly ash* dan *Bottom ash*. *Fly ash* dan *Bottom ash* dapat dimanfaatkan kembali diberbagai aplikasi lingkungan seperti adsorben atau bahan campuran kontruksi (Badu dkk., 2025).

Fly ash dan *Bottom ash* mengandung senyawa kimia seperti Silika (SiO_2) dan Alumina (Al_2O_3). *Fly ash* merupakan partikel halus dan berukuran mikro, sedangkan *Bottom ash* memiliki massa yang lebih berat dan kasar. *Fly ash* dan *Bottom ash* memiliki kandungan mineral, memiliki porositas, dan permukaan yang luas (Badu dkk., 2024). Kandungan dan karakteristik *Fly ash* dan Bottom yang digunakan sebagai adsorben, dapat digunakan untuk menurunkan kandungan pencemar pada limbah cair. Adsorben merupakan material padat yang memiliki kemampuan untuk menyerap partikel pencemar dari cairan melalui permukaan berpori. Efektivitas adsorben sangat dipengaruhi oleh luas permukaan, ukuran pori, distribusi partikel, dan kerapatan pori yang dimilikinya. Kecepatan proses adsorpsi dapat dipengaruhi oleh konsentrasi adsorben (Sinardi, 2022).

Limbah cair yang memiliki potensi untuk diolah menggunakan Adsorben *Fly ash* dan *Bottom ash* yaitu limbah cair industri tahu. Limbah cair industri tahu memiliki kandungan bahan organik tinggi dan membutuhkan proses penyaringan yang lebih efektif. Limbah cair tahu berasal dari proses pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan tahu. Limbah cair tahu memilikik kandungan TSS (Total Suspended Solids), COD (Chemical Oxygen Demand), dan BOD (Biochemical Oxygen Demand) yang besar (Maulana & Marsono, 2021). Limbah ini memiliki kandungan bahan organik yang sangat tinggi, dengan suhu berkisar antara 40–46 °C, nilai BOD sebesar 6000–8000 mg/L, COD antara 7500–14000 mg/L, serta tingkat keasaman (pH) yang rendah yaitu 5–6. Limbah cair tahu dapat menurunkan kualitas air, menimbulkan bau yang tidak seddap dan dapat mencemari biota air, air permukaan serta air tanah jika tidak diolah. Limbah cair tahu dapat memberikan dampak kepada kesehatan manusia seperti penyakit kulit dan gangguan pencernaan (Faisal dkk., 2016).

Total Suspended Solids (TSS) merupakan partikel padat organik maupun anorganik yang tersuspensi dalam air dan dapat dipisahkan dengan menggunakan kertas saring yang berukuran tertentu (Khofifah & Utami, 2022). Karakteristik utama TSS antara lain ukuran partikel yang beragam, massa jenis yang tinggi sehingga berpotensi mengendap jika tidak bergerak, serta berasal dari berbagai sumber seperti limbah organik, lumpur, pasir halus, atau residu makanan dari aktivitas industri. Konsentrasi TSS yang tinggi dalam air limbah dapat menyebabkan kekeruhan, dan menghalangi penetrasi sinar matahari ke dalam air, menurunkan kualitas air, dan mengganggu keseimbangan ekosistem dan proses fotosintesis organisme akuatik (Tarigan & Edward, 2023).

Konsentrasi tinggi Total Suspended Solids (TSS) dalam limbah cair dapat menyebabkan air menjadi keruh, membatasi masuknya cahaya matahari ke dalam perairan, serta menurunkan mutu air, yang pada akhirnya berdampak pada terganggunya ekosistem perairan. Oleh karena itu, pemantauan TSS sangat penting dalam menentukan kualitas air, karena terlalu banyak partikel tersuspensi dapat menghalangi cahaya dan mengurangi produktivitas primer seperti laju pembentukan biomassa oleh mikroorganisme (tumbuhan dan alga). Kadar TSS yang tinggi dapat mempengaruhi klorofil air, pigmen yang ditemukan dalam organisme mennyerap cahaya matahari untuk proses fotosintesis. Namun, dengan adanya TSS yang tinggi, partikel-partikel tersebut menghalangi cahaya yang diperlukan oleh klorofil, sehingga mengurangi efisiensi fotosintesis. Selain itu, keberadaan TSS yang tinggi juga memiliki efek negatif yang luas terhadap keberlanjutan ekosistem perairan (Sinaga dkk., 2024).

Berdasarkan permasalahan lingkungan, diperlukan metode pengolahan limbah cair tahu yang efektif. Metode yang dapat digunakan yaitu metode adsorpsi dengan bahan adsorben yaitu limbah padat *Fly ash* dan *Bottom ash* yang berasal dari hasil pembakaran batubara PLTU. *Fly ash* dan *Bottom ash* memiliki potensi sebagai adsorben karena karakteristik fisik dan kimia dalam proses penyerapan kandungan pencemar. Tujuan penelitian yaitu untuk mengevaluasi efektivitas *Fly ash* dan *Bottom ash* sebagai Adsorben pada limbah cair tahu.

2. MATERIAL AND METHODS

Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi efektivitas *Fly ash* dan *Bottom ash* menjadi adsorben untuk mengurangi kandungan pencemar TSS pada limbah cair tahu. Dilakukan pengujian berdasarkan perlakuan variasi sampel uji untuk mengukur pengaruh konsentrasi adsorben. Perlakuan variasi sampel dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Variasi Sampel Uji

No	Sampel	Bahan	Perlakuan (Gram)
1	Kontrol	-	-
2	Sampel 1	*Fly ash*	25
3	Sampel 2	*Fly ash*	50
4	Sampel 3	*Fly ash*	75
5	Sampel 4	*Bottom ash*	25
6	Sampel 5	*Bottom ash*	50
7	Sampel 6	*Bottom ash*	75

A. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, alat dan bahan yang digunakan meliputi sampel *Fly ash* dan *Bottom ash*, sampel limbah cair tahu, H2SO4 2M, aquadest, kertas saring, timbangan analitik dengan ketelitian hingga 0,0001 gram, desikator, oven, corong gelas, gelas beaker, erlenmeyer, pipet, magnetic stirrer, dan cawan gooch.

B. Pengambilan Sampel

Proses pengambilan sampel *Fly ash* dan *Bottom ash* dalam penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 03-6863-2002) tentang Metode Pengambilan Contoh dan Pengujian Abu Terbang atau Pozolan Alam Sebagai Mineral Pencampur dalam Beton Semen Portland (2002). Sedangkan untuk pengambilan sampel limbah cair tahu dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 6989.59:2008) tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah (2008).

C. Pembuatan Adsorben *Fly ash* dan Bottom

Pada tahap pembuatan adsorben, *Fly ash* dan *Bottom ash* terlebih dahulu dikeringkan menggunakan oven bersuhu 105°C selama tiga jam guna menghilangkan kandungan air. Setelah dikeringkan, sampel diayak untuk memperoleh partikel berukuran halus, lalu diaktivasi menggunakan larutan H_2SO_4 (Asam Sulfat) 2M. Proses aktivasi ini dilanjutkan dengan pemisahan antara fase padat dan cair menggunakan kertas saring, kemudian padatan dikeringkan kembali untuk mendapatkan adsorben dalam bentuk serbuk (powder) yang siap pakai.

D. Proses Adsorpsi

Tahapan adsorpsi dimulai dengan memasukkan 300 mL limbah cair tahu ke dalam gelas beaker berukuran 500 mL. Adsorben *Fly ash* dan *Bottom ash* yang telah diaktivasi ditambahkan ke dalam beaker sesuai dengan variasi perlakuan yang ditetapkan. Campuran tersebut diaduk menggunakan magnetic stirrer pada kecepatan 300 rpm selama 60 menit, lalu didiamkan selama 120 menit untuk proses sedimentasi. Setelah itu, campuran disaring kembali menggunakan kertas saring untuk memisahkan padatan dari cairan. Bahan dan alat utama yang digunakan meliputi larutan H_2SO_4 2M, kertas saring, dan aquadest sebagai pelarut pendukung dalam proses aktivasi.

E. Pengujian Parameter TSS

Dalam penelitian pengujian TSS digunakan metode gravimetri sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 06-6989.3-2019) tentang Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (TSS) secara Gravimetri tahun 2019. Dilakukan proses penyaringan menggunakan alat vakum. Sebelum penyaringan, kertas saring dibasahi dengan air suling untuk memastikan kestabilan. Sampel limbah dihomogenkan terlebih dahulu menggunakan pengaduk magnetik, dan selanjutnya diambil dengan pipet dalam volume tertentu selama proses pengadukan berlangsung untuk menjaga keseragaman.

Tahapan selanjutnya, kertas saring dicuci sebanyak tiga kali menggunakan 10 mL air suling, lalu dikeringkan sempurna dan dilanjutkan proses penyaringan dengan vakum selama tiga menit untuk hasil optimal. Jika kadar padatan dalam sampel tinggi, proses pencucian tambahan mungkin diperlukan. Setelah itu, kertas saring dipindahkan secara hati-hati ke dalam wadah penyangga berbahan aluminium atau langsung ke cawan jika menggunakan cawan gooch. Selanjutnya, kertas saring dikeringkan dalam oven bersuhu 103–105°C minimal selama satu jam, lalu didinginkan dalam desikator sebelum ditimbang. Proses pengeringan, pendinginan, dan penimbangan ini diulang hingga tercapai berat konstan, yakni perubahan berat kurang dari 4% atau selisih kurang dari 0,5 mg dari penimbangan sebelumnya.

F. Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada hasil pengujian parameter TSS. Data yang diperoleh, akan dilakukan untuk menilai perbedaan konsentrasi TSS sebelum dan setelah perlakuan menggunakan adsorben *Fly ash* dan *Bottom ash*. Persentase efisiensi proses adsorpsi dari

masing-masing adsorben dihitung menggunakan persamaan berikut (Badu dkk., 2025):

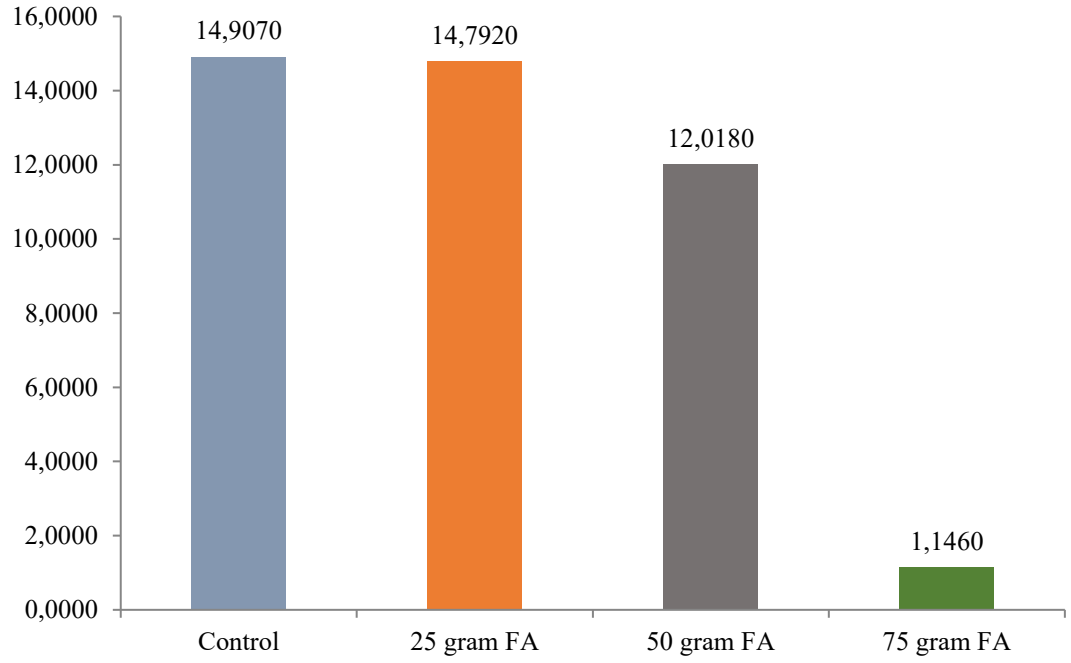
$$EP\ (\%) = \frac{Co - Ca}{Co} x\ 100 \quad (1)$$

Keterangan:

EP = Efektivitas Penyerapan (%)
Co = Konsentrasi Awal (mg/L)
Ca = Konsentrasi Akhir (mg/L)

3. RESULT AND DISCUSSIONS

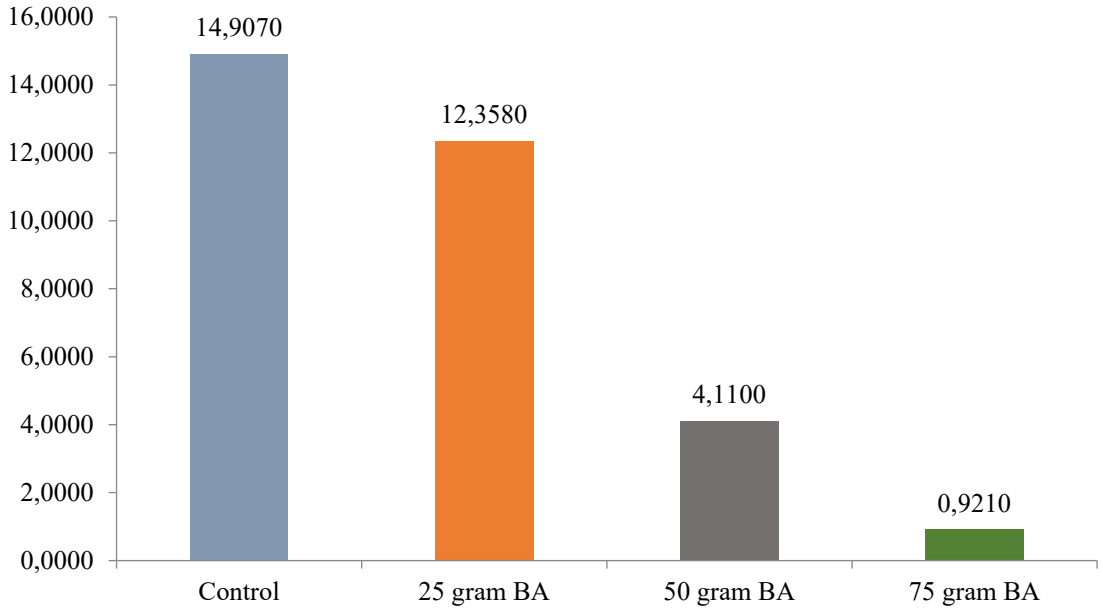
Hasil penelitian disajikan untuk menunjukkan efektivitas *Fly ash* dan *Bottom ash* sebagai adsorben dalam menurunkan kadar TSS pada limbah cair tahu. Analisis dilakukan dengan membandingkan konsentrasi TSS sebelum dan sesudah proses adsorpsi, serta mengevaluasi efisiensi kinerja masing-masing jenis adsorben berdasarkan hasil uji laboratorium dan data pendukung yang diperoleh. Hasil pengujian konsentrasi TSS yang dilakukan sesuai dengan pengolahan sampel limbah cair tahu menggunakan *Fly ash* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Pengujian Parameter TSS Menggunakan Adsorben *Fly ash*

Hasil pengujian parameter TSS pada sampel limbah cair tahu menunjukkan adanya penurunan kadar TSS yang signifikan dengan penambahan *Fly ash* (FA) sebagai adsorben. Pada sampel kontrol, nilai TSS tercatat sebesar 14,907 mg/L, yang menunjukkan tingginya kadar padatan tersuspensi pada limbah yang belum diolah. Setelah penambahan *Fly ash* sebanyak 25 gram, nilai TSS sedikit menurun menjadi 14,792 mg/L. Penurunan yang lebih signifikan terjadi pada penambahan *Fly ash* sebanyak 50 gram, dengan nilai TSS turun menjadi 12,018 mg/L. Penambahan *Fly ash* sebanyak 75 gram menunjukkan penurunan yang cukup drastis, yaitu mencapai 1,146 mg/L, yang menunjukkan tingginya efektivitas *Fly ash* dalam menurunkan TSS.

Hasil pengujian konsentrasi TSS yang dilakukan sesuai dengan pengolahan sampel limbah cair tahu menggunakan *Bottom ash* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil Pengujian Parameter TSS Menggunakan Adsorben *Bottom ash*

Hasil pengujian parameter TSS pada sampel limbah cair tahu menunjukkan adanya penurunan kadar TSS yang signifikan dengan penambahan *Bottom ash* (BA) sebagai adsorben. Pada *Bottom ash* (BA), juga terjadi penurunan TSS, meskipun lebih bertahap. Penambahan *Bottom ash* sebanyak 25 gram mampu menurunkan nilai TSS hingga 12,358 mg/L, sedangkan penambahan *Bottom ash* sebanyak 50 gram menunjukkan penurunan yang lebih signifikan dengan nilai TSS sebesar 4,11 mg/L. Dengan penambahan *Bottom ash* sebanyak 75 gram, nilai TSS mencapai 0,921 mg/L, yang menunjukkan hasil yang sangat baik dalam menurunkan jumlah padatan tersuspensi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, baku mutu untuk parameter TSS ditetapkan sebesar 200 mg/L. Secara keseluruhan, *Fly ash* dan *Bottom ash* sama-sama efektif dalam menurunkan konsentrasi TSS, dengan *Bottom ash* menunjukkan penurunan yang lebih drastis pada massa adsorben yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Fly ash*.

Penurunan konsentrasi TSS mencerminkan potensi penggunaan *Bottom ash* sebagai alternatif pengolahan limbah yang efisien dan ramah lingkungan, sebagaimana dapat dilihat pada hasil efektivitas penurunan TSS yang disajikan berikut.

Tabel 2. Efektivitas Penurunan Parameter TSS Menggunakan Adsorben *Fly ash* dan *Bottom ash*

Sampel	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir	Efektivitas TSS
25 gr FA	14,9070	14,7920	1%
50 gr FA	14,9070	12,018	19%
75 gr FA	14,9070	1,1460	92%
25 gr BA	14,9070	12,3580	17%
50 gr BA	14,9070	4,1100	72%
75 gr BA	14,9070	0,9210	94%

Pada parameter TSS, penurunan paling signifikan dicapai pada penambahan *Bottom ash*. Penambahan *Fly ash* sebanyak 75 gram menurunkan TSS dari 14,907 mg/L menjadi 1,146 mg/L, dengan efektivitas sebesar 92%. Sementara itu, penambahan sebanyak 50 gram dan 25 gram memiliki tingkat efektivitas masing-masing sebesar 19% dan 1%. *Bottom ash* juga menunjukkan hasil yang baik pada parameter ini, terutama pada penambahan sebanyak 75 gram, yang menurunkan TSS menjadi 0,921 mg/L dengan efektivitas sebesar 94%. Untuk penambahan sebanyak 50 gram dan 25 gram, tingkat efektivitas masing-masing sebesar 72% dan 17%.

Bottom ash lebih efektif menurunkan parameter TSS. *Bottom ash* memiliki permeabilitas yang lebih besar karena memiliki partikel pasir yang lebih banyak dibandingkan *Fly ash*. Permeabilitas yaitu kemampuan material untuk memungkinkan cairan, seperti air dan udara, melewati ruang-ruang kecil di dalamnya. Media seperti *Bottom ash* memiliki struktur yang membuatnya efektif dalam menyaring partikel-partikel kecil seperti TSS dalam air (Ayuningsih dkk., 2023).

4. CONCLUSIONS

Fly ash dan *Bottom ash* terbukti efektif menurunkan TSS pada limbah cair tahu, dengan *Bottom ash* lebih unggul mencapai efisiensi 94% pada dosis 75 gram. *Fly ash* membutuhkan dosis tinggi untuk hasil optimal, menunjukkan efisiensi 92% pada 75 gram. Kedua adsorben memenuhi baku mutu TSS Permen LHK No. 5/2014 (≤ 200 mg/L), bahkan menghasilkan TSS di bawah 2 mg/L. *Bottom ash* direkomendasikan karena struktur partikel kasar yang stabil dan minim penyumbatan. Pemanfaatan limbah PLTU ini menjadi solusi berkelanjutan untuk pengolahan limbah industri tahu.

REFERENCES

Ayuningsih, B., Yuniarto, A., & Zuhri, S. (2023). The Use of *Fly ash* and *Bottom ash* to Reduce COD, TSS, and Color in Textile Industry Wastewater Effluent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1250*(1).

Badu, R. R., Kunusa, W. R., Umadji, N. I. R., Paramata, M. Z., & A.MS.A, A. (2025). Pemanfaatan *Fly ash* dan *Bottom ash* Sebagai Adsorben dalam Menurunkan Parameter COD dan BOD pada Limbah Cair Tahu. *Jurnal Serambi Engineering*, *X*(2), 13374–13380.

Badu, R. R., Umadji, N. I. R., Ibrahim, S. R. I., & A, A. A. M. (2024). Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Metode Adsorpsi Menggunakan *Fly ash* dan *Bottom ash* dalam Menurunkan Parameter Amonia. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, *10*(1), 39–44.

Bagaskara, A., Arinaldo, D., Tumiwa, F., & Wiranegara, R. R. Y. (2023). *Delivering Power Sector Transition in Indonesia: Costs, Benefits, and Implications of Intervening the 13.8 GW Coal-fired Power Plants Project Pipeline of Indonesia's State-owned Utility*. Institute for Essential Services Reform.

Faisal, M., Gani, A., Mulana, F., & Daimon, H. (2016). Treatment and Utilization of Industri Tofu Waste in Indonesia. *Asian Journal of Chemistry*, *28*(3), 501–507.

Khofifah, & Utami, M. (2022). Analysis of Total Dissolved Solid (TDS) and Total Suspended Solid (TSS) Levels in Liquid Waste from Sugar Cane Industry. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*, *7*(1), 43–49.

Maulana, M. R., & Marsono, B. D. (2021). Penerapan Teknologi Membran untuk Mengolah Limbah Cair Industri Tahu (Studi Kasus: UKM Sari Bumi, Kabupaten). *Jurnal Teknik*, *10*(2), 54–60.

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.

Sinaga, M. P., Siburian, D. T. E., & Zega, E. K. (2024). The Impact Of Total Suspended Solid (TSS) And Containing Water Chlorophyll-A On The Fertility Level Of Jakarta Jakarta Bay Waters Using Technology Of Google Earth Engine (Gee) Clouds. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, *12*(2), 32–44.

Sinardi. (2022). Adsorben *Fly ash* : Studi Aplikasi *Fly ash* pada Limbah Cair Cold Storage. In *OSF Prints*. Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Standar Nasional Indonesia tentang Metode Pengambilan Contoh dan Pengujian Abu Terbang atau Pozolan Alam Sebagai Mineral Pencampur dalam Beton Semen Portland, 1 (2002).

Standar Nasional Indonesia tentang Cara Uji Padatan Tersuspensi Total (TSS) secara Gravimetri, 1 (2019).

Standar Nasional Indonesia tentang Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah, 59 (2008).

Tarigan, M. S., & Edward, E. (2023). Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (Total Suspended Solid) di Perairan Raha , Sulawesi Tenggara. *Makara Journal of Science*, *7*(3), 109–119.

Wijaya, B., Mohamad, Y., Matoka, A., & Tolango, A. I. (2025). Analysis of the Coal and White Leadtree Wood Co-Firing Needs as a Primary Fuel Source in the Anggrek Gorontalo Coal-Steam Electricity Power Plant (PLTU). *MITOR: Jurnal Teknik Elektro*, *25*(1), 39–46.