

# Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash Sebagai Adsorben dalam Menurunkan Parameter COD dan BOD pada Limbah Cair Tahu

Risti Ristianingsih Badu<sup>1</sup>, Wiwin Rewini Kunusa<sup>2\*</sup>, Nur Inda R. Umadji<sup>3</sup>,  
Mulyani Zahra Paramata<sup>4</sup>, Anisyah A. MS. A<sup>5</sup>

<sup>1,3,5</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Nahdlatul Ulama Gorontalo, Gorontalo

<sup>2</sup>Program Studi Kimia, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo

<sup>4</sup>Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo

\*Koresponden email: rewunikunusa2014@gmail.com

Diterima: 8 April 2025

Disetujui: 17 April 2025

## Abstract

The demand for clean water in Indonesia has been steadily increasing, but water pollution from industrial wastewater, especially from tofu production, remains a significant challenge. This study investigates the potential of fly ash and bottom ash as adsorbents to reduce chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD) in tofu wastewater. Laboratory experiments were conducted with different adsorbent doses of 25, 50, and 75 grams. The adsorption process involved stirring the samples for 60 minutes, followed by a sedimentation period of 120 minutes. The results showed that fly ash was more effective than bottom ash in reducing COD and BOD levels. At a dose of 75 grams, Fly Ash achieved a 72% reduction in COD (from 0.8672 mg/L to 0.2438 mg/L) while Bottom Ash resulted in a 68% reduction with a final COD concentration of 0.2735 mg/L. A similar pattern was observed in the reduction of BOD. These results indicate that both fly ash and bottom ash can be effective and environmentally friendly alternatives for the treatment of tofu wastewater.

**Keywords:** *adsorption; COD; BOD; fly ash; bottom ash; tofu liquid waste*

## Abstrak

Kebutuhan air bersih di Indonesia terus meningkat, namun pencemaran air akibat limbah cair industri tahu menjadi masalah serius. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas Fly Ash dan Bottom Ash sebagai adsorben untuk menurunkan kandungan COD dan BOD pada limbah cair tahu. Metode eksperimen laboratorium dilakukan dengan dosis adsorben 25, 50, dan 75 gram. Adsorpsi terjadi dengan pengadukan selama 60 menit dan pengendapan selama 120 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Fly Ash* lebih efektif dibandingkan dengan *Bottom Ash*. *Fly Ash* pada dosis 75 gram, *Fly Ash* menurunkan COD hingga 72% (dari 0,8672 mg/L menjadi 0,2438 mg/L), sedangkan *Bottom Ash* menurunkan COD hingga 68% (dengan konsentrasi akhir 0,2735 mg/L). Pola yang serupa ditunjukkan oleh penurunan BOD. Temuan ini menunjukkan bahwa *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dapat digunakan sebagai adsorben alternatif untuk pengolahan limbah cair tahu yang ramah lingkungan.

**Kata Kunci:** *adsorpsi; COD; BOD; fly ash; bottom ash; limbah cair tahu*

## 1. Pendahuluan

Kebutuhan air bersih terus meningkat seiring pertumbuhan populasi diseluruh dunia sehingga air menjadi sumber daya penting bagi kehidupan manusia. Pencemaran air masih terjadi di Indonesia, meskipun Indonesia memiliki banyak sumber daya air yang dapat digunakan. Penurunan kualitas air dapat dikenali melalui Peningkatan parameter fisik, seperti perubahan warna dari coklat ke hitam, yang menunjukkan keberadaan zat kimia berbahaya [1]. Salah satu pencemar yaitu limbah cair industri tahu.

Limbah cair tahu merupakan limbah organik yang dapat mencemari lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Limbah cair dari proses produksi tahu biasanya terjadi selama tahap pencucian, pengepresan, dan pembentukan kacang kedelai. Sebagian besar industri menyadari bahwa sistem pengelolaan limbah tidak memadai, terutama di tingkat rumah tangga. Penyebab utama pengelolaan sampah yang kurang efektif adalah keterbatasan sumber daya dan teknologi [2]. Limbah cair tahu mengandung senyawa organik seperti protein, lemak, dan karbohidrat yang tinggi sehingga menyebabkan tingginya nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada air limbah [3]. Kandungan COD pada limbah cair tahu antara 1940 – 4800 mg/L, sedangkan kandungan BOD antara 1070-2600 mg/L) [4]. Pembuangan langsung limbah tahu ke saluran air tanpa pengolahan dapat mengurangi kadar oksigen terlarut, merusak

ekosistem perairan, dan menimbulkan bau yang tidak sedap sehingga dapat mengganggu masyarakat sekitar. Parameter COD dan BOD dapat di *reduce* menggunakan pengolahan biologis, fisika dan kimia.

Pendekatan yang dapat diterapkan dalam pengolahan limbah cair tahu yaitu melalui proses adsorpsi. Proses adsorpsi adalah fenomena di mana molekul atau ion diserap dari fase cair ke permukaan padat sebagai hasil interaksi fisik atau kimia. Dalam mekanisme ini, zat yang diserap disebut adsorbat, sedangkan bahan penyerap disebut adsorben. Adsorpsi terjadi karena adanya perbedaan energi antara permukaan, yang menciptakan gaya tarik menarik antara molekul-molekul penyerap dan permukaan penyerap. Secara kinetik, proses ini menggambarkan laju molekul dari larutan memasuki pori-pori adsorben. Laju ini sangat dipengaruhi oleh luas permukaan, ukuran pori, dan sifat kimia permukaan adsorben [5]. Adsorpsi banyak digunakan dalam pengolahan limbah untuk mengurangi kandungan organik dan anorganik. Keuntungan metode ini adalah fleksibilitas dalam pemilihan bahan penyerap, termasuk limbah industri padat seperti *Fly Ash* dan *Bottom Ash*.

*Fly Ash* dan *Bottom Ash* adalah dua jenis residu yang dihasilkan selama pembakaran batu bara di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Fly Ash* merupakan partikel halus yang dikeluarkan bersamaan dengan gas buang dari proses pembakaran dan dikumpulkan menggunakan *electrostatic precipitator* untuk mengurangi tingkat polusi udara [6]. *Fly Ash* memiliki keunggulan sebagai penyerap yang berasal dari komposisi kimia, permukaan luas, porositas, ukuran partikel, dan kapasitas penyerapan yang besar [7]. *Fly Ash* mengandung SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, dan sejumlah kecil kalium, natrium titanium dan sulfur. Sedangkan *Bottom Ash* memiliki massa yang lebih berat dibandingkan dengan *Fly Ash*, sehingga *Bottom Ash* jatuh ke dasar kiln [8]. *Bottom Ash* mengandung SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang memiliki sifat seperti zeolit sehingga dapat menyisihkan kandungan organik dalam air [9]. Jika *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dimanfaatkan dengan baik, maka akan menjadi solusi pengolahan limbah yang lebih ekonomis dan berkelanjutan. Pemanfaatan ini mendukung konsep *circular economy* dalam pengelolaan limbah industri.

Kurangnya sistem pengolahan limbah cair pada industri tahu karena adanya keterbatasan teknologi dan biaya. Penelitian terhadap pemanfaatan material *Fly Ash* dan *Bottom Ash* menjadi solusi yang tepat dalam pengolahan limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai adsorben dalam menurunkan kandungan COD dan BOD pada limbah cair tahu. Pengujian dilakukan melalui proses adsorpsi dalam skala laboratorium dengan variasi dosis adsorben. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi penerapan teknologi pengolahan limbah yang lebih baik.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi efektivitas *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai adsorben dalam mengurangi konsentrasi pencemar COD dan BOD pada limbah cair tahu. Metode digunakan untuk mengidentifikasi variasi konsentrasi adsorben dalam mempengaruhi efisiensi proses adsorpsi. Perlakuan yang berbeda dilakukan pada sampel dengan variasi dosis adsorben yang ditentukan sebelumnya untuk memperoleh data kuantitatif yang sebanding. Pengaruh konsentrasi adsorben terhadap penurunan kadar COD dan BOD diuji pada setiap sampel dengan perlakuan yang berbeda-beda. Perlakuan terhadap setiap sampel selama proses eksperimen dapat dilihat pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Perlakuan Variasi Sampel

No	Sampel	Bahan	Perlakuan
1	Control	-	-
2	Sampel 1	<i>Fly Ash</i>	25 gr
3	Sampel 2		50 gr
4	Sampel 3		75 gr
5	Sampel 4	<i>Bottom Ash</i>	25 gr
6	Sampel 5		50 gr
7	Sampel 6		75 gr

### Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan berbagai peralatan penunjang laboratorium pada proses pengujian. Alat yang digunakan meliputi ayakan berukuran 212 mesh, oven untuk pengering, spektrofotometer UV-Vis, erlenmeyer, pengaduk magnetik (magnetic stirrer), pipet ukur 25 mL, pipet tetes, timbangan analitik, labu ukur 100 mL, kertas saring, cawan, serta desikator pendingin. Untuk menjamin validitas hasil pengujian, setiap peralatan digunakan sesuai dengan fungsinya. Sedangkan bahan yang digunakan meliputi limbah cair tahu, *Fly Ash* dan *Bottom Ash*, asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), kalium hidrogen flatat 500 ppm, digestion solution rendah, dan aquadest.

### *Preparasi Fly Ash dan Bottom Ash*

Tahapan pertama yaitu persiapan adsorben yang dilakukan dengan mengeringkan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* pada oven dengan suhu 105°C selama tiga jam untuk menghilangkan kadar air pada sampel. Setelah proses pengeringan, bahan disaring menggunakan ayakan berukuran 212 mesh untuk mendapatkan partikel yang lebih halus. Bahan diekstraksi kemudian diaktifkan dengan larutan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) selama 120 menit untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi. Setelah diaktivasi, padatan dan cairan dipisahkan menggunakan kertas saring. Sampel yang telah dibersihkan, kemudian dikeringkan menggunakan oven untuk menyelesaikan proses aktivasi.

### *Proses Adsorpsi*

Proses adsorpsi dilakukan dengan menyiapkan limbah cair tahu sebanyak 300 mL ada setiap gelas beaker 500 mL. Sampel *Fly Ash* dan *Bottom Ash* yang telah diaktivasi, ditambahkan ke dalam gelas beaker sesuai dengan variasi sampel. Sampel diaduk selama 60 menit menggunakan *magnetic stirrer* untuk memastikan homogenitas. Setelah proses pencampuran selesai, sampel didiamkan selama 120 menit agar partikel mengendap secara alami melalui proses pengadukan. Selanjutnya, sampel disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan padatan dan cairan. Sampel yang dimurnikan kemudian diuji kandungan COD dan BOD.

### *Pengujian Parameter COD*

Tahapan pertama adalah membuat kurva kalibrasi dengan mengambil 1,2 mL larutan standar kalium hidrogen flatat dengan konsentrasi 500 ppm. Kemudian, tuangkan ke dalam labu ukur 10 mL dan encerkan hingga batas volume dengan ditambahkan aquadest. Sebanyak 2,5 mL larutan encer dimasukkan ke dalam tabung reaksi, setelah itu ditambahkan 1,5 mL larutan digestion solution rendah dan 3,5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ke dalam sampel. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam reaktor COD selama 2 jam, dan kemudian didinginkan hingga suhu ruangan. Sampel dimasukkan kedalam kuvet spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 420 nm untuk menentukan nilai absorbansi. Nilai ini kemudian digunakan untuk membuat kurva kalibrasi.

Tahapan kedua adalah pengujian COD pada sampel dengan memasukkan 1 mL limbah cair tahu ke dalam labu ukur 1000 mL dan diencerkan menggunakan aquadest hingga tanda batas. Ambil sampel sebanyak 2,5 mL dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian tambahkan 1,5 mL larutan digestion solution rendah dan 3,5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ke dalam sampel. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam reaktor COD selama 2 jam, dan kemudian didinginkan hingga suhu ruangan. Sampel dimasukkan kedalam kuvet spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 420 nm untuk menentukan nilai absorbansi. Hasil absorbansi yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi nilai konsentrasi COD berdasarkan kurva kalibrasi yang telah dikembangkan sebelumnya [10]

### *Pengujian Parameter BOD*

Pada pengujian BOD, sampel diambil sebanyak 100 mL dan dimasukkan ke dalam gelas beaker. Selanjutnya, pengujian kandungan DO<sub>0</sub> dilakukan secara langsung menggunakan alat Aquaread, dan hasil pengukuran dicatat sebagai nilai DO<sub>0</sub>. Selanjutnya, pada pengukuran BOD<sub>5</sub> dilakukan dengan mengambil 100 mL sampel kemudian dimasukkan ke dalam botol winkler selama 5 hari dalam kondisi suhu konstan dan dalam ruang gelap untuk mencegah aktivitas fotosintesis mikroalga yang dapat mempengaruhi hasil sampel. Setelah masa inkubasi, sampel dimasukkan ke dalam gelas beaker dan diukur menggunakan aquaread untuk mendapatkan nilai DO<sub>5</sub>. Nilai BOD<sub>5</sub> dihitung berdasarkan selisih antara DO<sub>0</sub> dan DO<sub>5</sub>. Hasil ini adalah jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk memecah bahan organik selama masa inkubasi lima hari.

### *Analisis Data*

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil pengujian parameter COD dan BOD pada sampel. Data yang dikumpul, kemudian dianalisis untuk mengevaluasi perubahan konsentrasi COD dan BOD sebelum dan sesudah perlakuan sampel. Hasil pengolahan data ditampilkan dalam bentuk grafik. Untuk menentukan persentase efisiensi adsorpsi untuk setiap jenis adsorben digunakan rumus sebagai berikut [11]:

$$EP (\%) = \frac{C_0 - C_a}{C_a} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

EP = Efektivitas Penyerapan (%)

Co = Konsentrasi Awal

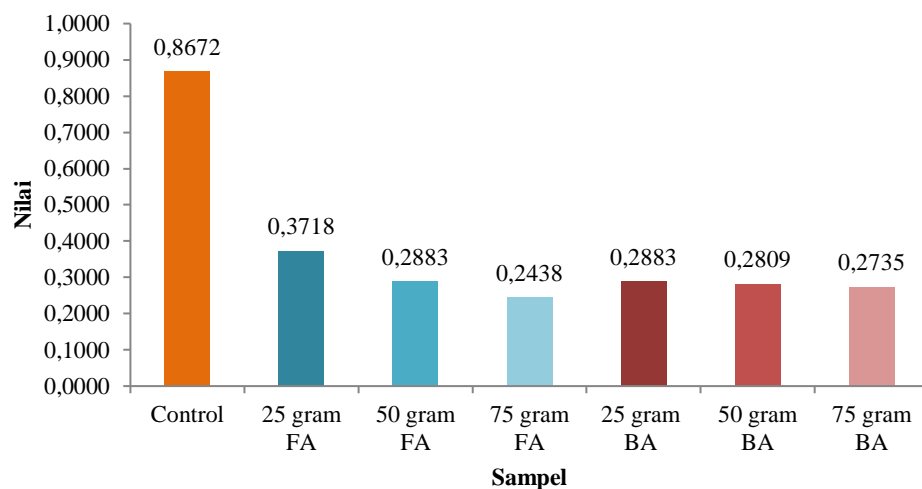
Ca = Konsentrasi Akhir

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, variasi konsentrasi awal adsorben dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh terhadap kinerja adsorpsi *Fly Ash* dan *Bottom Ash*. Tujuan dari variasi ini adalah untuk mengetahui tingkat efektivitas masing-masing material dalam menurunkan konsentrasi pencemar seperti COD dan BOD pada massa adsorben yang berbeda. Massa adsorben yang digunakan pada perlakuan terdiri dari 25 gram, 50 gram, dan 75 gram untuk masing-masing jenis adsorben. Pengujian ini dapat digunakan untuk menentukan dosis adsorben yang paling tepat untuk menurunkan kadar COD dan BOD pada limbah tahu cair.

#### Parameter COD

Hasil pengujian konsentrasi COD yang dilakukan sesuai dengan pengolahan sampel limbah cair tahu menggunakan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 1. Hasil Pengujian Parameter COD

Hasil pengujian parameter COD (Chemical Oxygen Demand) menunjukkan bahwa penambahan *Fly Ash* (FA) dan *Bottom Ash* (BA) pada sampel limbah cair mengakibatkan penurunan nilai COD yang cukup signifikan dibandingkan dengan sampel kontrol. Pada sampel kontrol, nilai COD tercatat sebesar 0,8672 mg/L, yang menunjukkan tingkat pencemaran organik yang relatif tinggi. Setelah penambahan *Fly Ash* sebanyak 25 gram, nilai COD mengalami penurunan yang cukup signifikan yaitu sebesar 0,3718 mg/L, kemudian dilanjutkan dengan penambahan *Fly Ash* sebanyak 50 gram yang selanjutnya menurunkan nilai COD menjadi 0,2883 mg/L, dan penambahan *Fly Ash* sebanyak 75 gram selanjutnya menurunkan nilai COD menjadi 0,2438 mg/L. Pada *Bottom Ash* (BA), pola penurunan COD juga terlihat namun sedikit lebih lambat dibandingkan dengan *Fly Ash*. Penambahan *Bottom Ash* sebanyak 25 gram menurunkan nilai COD menjadi 0,2883 mg/L, sedangkan penambahan *Bottom Ash* sebanyak 50 gram menghasilkan nilai COD sebesar 0,2809 mg/L. Dengan penambahan *Bottom Ash* sebanyak 75 gram, nilai COD tercatat sebesar 0,2735 mg/L.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, baku mutu untuk parameter COD ditetapkan sebesar 300 mg/L [12]. Dari hasil tersebut didapat bahwa *Fly Ash* mempunyai kemampuan menurunkan nilai COD lebih baik dibandingkan dengan *Bottom Ash*, dengan penurunan yang lebih besar pada setiap taraf penambahan massa adsorben. *Fly Ash* memiliki kandungan senyawa mineral seperti kuarsa dan karbonat. Senyawa karbonat dapat bereaksi dengan amonia, menghasilkan senyawa yang lebih stabil dan meningkatkan efektivitas *Fly Ash* dalam proses pengolahan air limbah [13].

Setelah dilakukan pengujian parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair tahu dengan menggunakan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* sebagai adsorben, diperoleh hasil yang menunjukkan adanya variasi efektivitas berdasarkan jumlah adsorben yang ditambahkan.

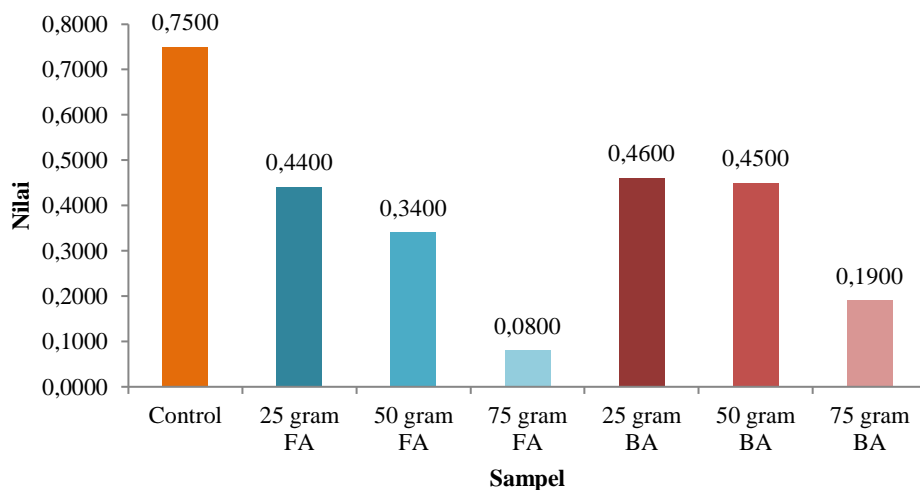
Tabel 2. Efektivitas Parameter COD

Sampel	Konsentrasi Awal	Konsentrasi Akhir	Efektivitas
25 gram FA	0,8672	0,3718	57%
50 gram FA	0,8672	0,2883	67%
75 gram FA	0,8672	0,2438	72%
25 gram BA	0,8672	0,2883	67%
50 gram BA	0,8672	0,2809	68%
75 gram BA	0,8672	0,2735	68%

Penurunan COD menunjukkan adanya efektivitas adsorpsi baik dengan *Fly Ash* maupun *Bottom Ash*. Dengan penambahan *Fly Ash* sebanyak 25 gram, konsentrasi COD mengalami penurunan dari 0,8672 mg/L menjadi 0,3718 mg/L atau mencapai efektivitas sebesar 57%. Efektivitas terus meningkat dengan penambahan *Fly Ash* yang lebih banyak yaitu mencapai 67% pada 50 gram dan 72% pada 75 gram. Sementara itu, penambahan *Bottom Ash* sebanyak 25 gram menghasilkan penurunan COD sebesar 67%, dan penambahan 50 gram dan 75 gram menghasilkan efektivitas yang sama yaitu sekitar 68%.

#### Parameter BOD

Hasil pengujian konsentrasi BOD yang dilakukan sesuai dengan pengolahan sampel limbah cair tahu menggunakan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Hasil Pengujian Parameter BOD

Berdasarkan hasil pengujian parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*) yang tertera pada tabel, terlihat bahwa penambahan *Fly Ash* (FA) dan *Bottom Ash* (BA) pada sampel limbah cair mengakibatkan penurunan nilai BOD yang cukup signifikan dibandingkan dengan sampel kontrol. Pada sampel kontrol, nilai BOD tercatat sebesar 0,75 mg/L, yang menunjukkan tingginya kandungan bahan organik yang dapat terurai secara hayati dalam sampel. Setelah penambahan *Fly Ash* sebanyak 25 gram, nilai BOD menurun menjadi 0,44 mg/L, kemudian dilanjutkan dengan penambahan *Fly Ash* sebanyak 50 gram menjadi 0,34 mg/L, dan penambahan *Fly Ash* sebanyak 75 gram mengakibatkan penurunan yang cukup drastis menjadi 0,08 mg/L. Pada *Bottom Ash* (BA), penurunan BOD juga terjadi, tetapi tidak secepat penurunan yang terjadi pada *Fly Ash*. Penambahan *Bottom Ash* sebanyak 25 gram mampu menurunkan nilai BOD menjadi 0,46 mg/L, kemudian dilanjutkan dengan penambahan *Bottom Ash* sebanyak 50 gram sehingga menghasilkan nilai BOD sebesar 0,45 mg/L. Dengan penambahan *Bottom Ash* sebanyak 75 gram, nilai BOD mengalami penurunan yang lebih signifikan menjadi 0,19 mg/L.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, baku mutu untuk parameter BOD ditetapkan sebesar 150 mg/L [12]. Secara keseluruhan, *Fly Ash* terbukti lebih efektif dalam menurunkan nilai BOD dibandingkan dengan *Bottom Ash*, dengan penurunan yang lebih besar pada setiap tingkat penambahan massa adsorben. *Fly Ash*

memiliki luas permukaan yang besar sehingga memiliki struktur yang berpori [14]. Hal ini memungkinkan BOD dapat teradsorpsi pada permukaan *Fly Ash*.

Setelah dilakukan pengujian parameter *Biological Oxygen Demand* (BOD) pada limbah cair tahu dengan menggunakan *Fly Ash* (FA) dan *Bottom Ash* (BA) sebagai adsorben, diperoleh hasil yang menunjukkan adanya variasi efektivitas berdasarkan jumlah adsorben yang ditambahkan.

**Tabel 2.** Efektivitas Parameter COD

Sampel	Konsentrasi		Efektivitas
	Awal	Akhir	
25 gram FA	0,7500	0,4400	41%
50 gram FA	0,7500	0,3400	55%
75 gram FA	0,7500	0,0800	89%
25 gram BA	0,7500	0,4600	39%
50 gram BA	0,7500	0,4500	40%
75 gram BA	0,7500	0,1900	75%

Pada parameter BOD, *Fly Ash* juga menunjukkan penurunan yang lebih signifikan dibandingkan dengan *Bottom Ash*. Dengan penambahan *Fly Ash* sebanyak 25 gram, konsentrasi BOD menurun dari 0,75 mg/L menjadi 0,44 mg/L, dengan efektivitas mencapai 41%. Sementara itu, pada *Fly Ash* sebanyak 50 gram dan 75 gram, efektivitas meningkat masing-masing menjadi 55% dan 89%. *Bottom Ash* memiliki efektivitas yang lebih rendah, dengan penurunan BOD sebesar 39% pada 25 gram, 40% pada 50 gram, dan 75% pada 75 gram.

*Fly Ash* terbukti lebih efektif dalam menurunkan kadar COD dan BOD dibandingkan dengan *Bottom Ash*, terutama dengan penambahan massa adsorben yang lebih besar. *Fly Ash* memiliki karakteristik yang lebih halus dan ukurannya lebih kecil dibandingkan dengan *Bottom Ash* yang cenderung lebih kasar dan tidak beraturan. Porositas yang baik pada *Fly Ash* berperan penting dalam meningkatkan kemampuannya dalam proses kimia, terutama dalam menangkap polutan melalui mekanisme adsorpsi [15]

#### 4. Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan *Fly Ash* dan *Bottom Ash* dapat menurunkan konsentrasi parameter COD dan BOD dalam limbah cair tahu. Karakteristik fisik *Fly Ash*, yang memiliki struktur berpori dan luas permukaan yang tinggi, menunjukkan efisiensi adsorpsi yang lebih baik daripada *Bottom Ash*, dengan penurunan COD sebesar 71% dan BOD sebesar 89% pada dosis 75 gram. Efektivitas ini menunjukkan bahwa limbah padat yang dihasilkan dari pembakaran batubara dapat menjadi alternatif yang dapat mengurangi pencemaran air.

#### 5. Referensi

- [1] V. Yustika dkk., “Analisis Kandungan Logam dalam Air Limbah Laundry dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis,” *Inovasi Teknik Kimia*, vol. 7, no. 2, hal. 14–22, 2022.
- [2] W. P. Pangestu, H. Sadida, dan D. Vitasari, “Pengaruh Kadar BOD, COD, pH dan TSS Pada Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Media Filter Adsorben Alam dan Elektrokoagulasi,” *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 6, no. 2, hal. 74–80, 2021
- [3] S. Ba’adilla, A. W. Nugraha, dan U. T. Laksono, “Pengaruh Biokoagulan dari Kulit Pisang Kepok dan Biji Kelor Terhadap Kualitas Limbah Cair Industri Tahu,” *Jurnal Agroindustri Pangan*, vol. 4, no. 1, hal. 1–17, 2025.
- [4] R. Yulianto, R. Litza Prihanto, S. Redjeki, dan Iriani, “Penurunan Kandungan COD dan BOD Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Ozonisasi,” *Journal of Chemical and Process Engineering ChemPro Journal*, vol. 01, no. 01, hal. 9–15, 2020
- [5] Sirajuddin dan Harjanto, “Pengaruh Ukuran Adsorben dan Waktu Adsorpsi Terhadap Penurunan Kadar COD pada Limbah Cair Tahu Menggunakan Arang Aktif Tempurung Kelapa,” *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, vol. 2018, hal. 42–46, 2018.
- [6] R. F. Sinurat, Solly Aryza, dan A. S. P. Tarigan, “Study an Improvement of Electrostatic Precipitator (ESP) Interference Protection Systems PLTU Pangkalan Susu Units 1 and 2,” *International Journal of Economic, Technology and Social Sciences (Injects)*, vol. 3, no. 1, hal. 214–221, 2022

- [7] T. Ridhowan, E. S. Yusmartini, dan D. Kharismadewi, "Optimization of Coal Fly Ash Heating Temperature as an Adsorbent to Improve Acid Mine Water Quality," *Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry*, vol. 9, no. 3, hal. 139–146, 2021
- [8] N. F. Setiaji, A. Sarwono, dan I. W. K. Suryawan, "Differences in the Quality of Bottom Ash and Fly Ash for the Cement Industry as an Alternative Fuel (AF)," *Journal of Earth and Marine Technology (JEMT)*, vol. 3, no. 2, hal. 41–47, 2023
- [9] P. J. Fadilla, M. R. Sururi, D. Marganingrum, dan M. Dirgawati, "Utilization of Bottom Ash as an Adsorbent for Color and COD Removal for Textile Industry Waste," *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, vol. 19, no. 1, hal. 78–88, 2022
- [10] SNI 6989.2-2009, *Standar Nasional Indonesia tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (Chemical Oxygen Demand/COD) dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri*. 2009.
- [11] R. R. Badu, N. I. R. Umadji, S. R. I. Ibrahim, dan A. A. M. A, "Pengolahan Limbah Cair Tahu dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Fly Ash dan Bottom Ash dalam Menurunkan Parameter Amonia," *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 10, no. 1, hal. 39–44, 2024.
- [12] *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah*. Indonesia.
- [13] M. Septiani, Z. Darajat, I. Pasinda, dan D. Kurniawan, "Kajian Perbandingan Efektivitas Adsorben Ampas Kopi Dan Fly Ash Pada Penurunan Konsentrasi Amonia (Nh<sub>3</sub>) Dalam Limbah Cair Urea," *JST (Jurnal Sains Terapan)*, vol. 7, no. 2, hal. 52–59, 2021
- [14] Slamet dan K. K. Imas, "Pemanfaatan Limbah Fly Ash untuk Penanganan Limbah Cair Amonia," *Jurnal Kimia dan Kemasan*, vol. 39, no. 2, hal. 69–78, 2017
- [15] N. L. Rahim dkk., "Waste to concrete material: Potential Study of Chemical Characterization of Coal Fly Ash and Bottom Ash," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1216, no. 1, 2023