

PEMANFAATAN ABU BOILER (*FLY ASH*) SEBAGAI KOAGULAN DALAM PENJERNIHAN AIR SUNGAI

Jemina Simanjuntak¹, Ian Kurniawan², Nurlela³

Universitas PGRI Palembang, Palembang

e-mail: ¹jeminasimanjuntak01@gmail.com, ²iankurniawan@univpgri-palembang.ac.id,
³nurlela@univpgri-palembang.ac.id

Abstract: Fly ash is a byproduct of palm oil mills produced from the combustion of palm oil. Various studies have been conducted to manage fly ash waste, one of which involves using fly ash as a coagulant due to its aluminum content. This study aims to investigate the process of producing a coagulant from boiler ash (fly ash) for raw water. The coagulant was produced through a solid-liquid extraction process using H_2SO_4 as a solvent at varying concentrations of 8%, 10%, 12%, and 14%, with fly ash volumes of 0.5, 0.6, and 0.7 mL, and an extraction time of 2 hours. The raw water quality parameters tested included pH, TDS, TSS, turbidity, hardness, and silica. The results of the study indicate that increasing the solvent concentration and varying the fly ash content significantly affect the effectiveness of the coagulant. The best sample was obtained using 14% H_2SO_4 with 0.7 ml of fly ash, which reduced the TSS value from 18 ppm to 1 ppm and turbidity from 25 NTU to 2 NTU. The pH increased from 5 to 7.5, approaching neutrality, and TDS rose from 34 ppm to 492 ppm. However, the hardness and silica values did not undergo significant changes.

Keywords: Coagulant, Fly Ash, Extraction, Raw Water

Abstrak: Fly Ash merupakan produk sampingan dari pabrik kelapa sawit yang dihasilkan dari pembakaran kelapa sawit. Berbagai macam penelitian telah dilakukan untuk menangani limbah fly ash, salah satunya dengan menjadikan fly ash sebagai bahan koagulan karena memiliki kandungan aluminium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui proses pembuatan koagulan dari abu boiler (fly ash) untuk air baku. Koagulan dibuat melalui proses ekstraksi padat cair dengan menggunakan pelarut H_2SO_4 dengan variasi konsentrasi 8%, 10%, 12% dan 14% dengan variasi fly ash 0,5, 0,6 dan 0,7 ml dan waktu ekstraksi selama 2 jam. Parameter kualitas air baku yang diuji meliputi pH, TDS, TSS, turbidity, hardness, dan silica. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi pelarut dan variasi fly ash sangat berpengaruh signifikan terhadap efektivitas koagulan. Sampel terbaik terdapat pada penggunaan pelarut H_2SO_4 14% dengan fly ash 0,7 ml, yang mampu menurunkan nilai TSS dari 18 ppm menjadi 1 ppm dan turbidity dari 25 NTU menjadi 2 NTU. Parameter pH meningkat dari 5 menjadi 7,5, mendekati nilai netral dan TDS dari 34 ppm menjadi 492 ppm. Namun, nilai hardness dan silica tidak mengalami perubahan signifikan.

Kata kunci: Koagulan, Fly Ash, Ekstraksi, Air Baku.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri kelapa sawit di Indonesia menunjukkan peningkatan yang sangat pesat dari tahun ke tahun (Harefa et al., 2025). Berdasarkan data statistik Perkebunan Unggulan Nasional, luas areal perkebunan

kelapa sawit terus mengalami peningkatan hingga mencapai lebih dari 15 juta hektar pada tahun 2021 dan diproyeksikan terus bertambah pada tahun-tahun berikutnya. Peningkatan luas areal dan produksi kelapa sawit ini berdampak langsung terhadap meningkatnya aktivitas pengolahan di pabrik kelapa sawit (PKS),

termasuk meningkatnya jumlah limbah yang dihasilkan dari proses produksi (Alpandari & Prakoso, 2021).

Salah satu limbah padat yang dihasilkan dari PKS adalah abu boiler yang berasal dari proses pembakaran cangkang dan serat kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler. Proses pembakaran tersebut menghasilkan residu berupa abu layang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). *Fly ash* merupakan partikel halus yang terbawa aliran udara hasil pembakaran dan umumnya hanya ditumpuk atau dibuang di area terbuka tanpa pengolahan lebih lanjut. Penanganan yang kurang tepat dapat menimbulkan pencemaran lingkungan karena partikel halus mudah tersebar oleh angin dan kandungan logam di dalamnya berpotensi mencemari tanah maupun perairan di sekitarnya (Rum et al., 2025).

Di sisi lain, *fly ash* kelapa sawit memiliki kandungan mineral yang cukup tinggi, terutama silika (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3). Kandungan aluminium oksida tersebut menunjukkan bahwa *fly ash* berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku koagulan dalam pengolahan air. Ion aluminium yang dihasilkan dari proses ekstraksi dapat berfungsi sebagai koagulan untuk mengikat partikel-partikel koloid dan partikel tersuspensi di dalam air sehingga mempermudah proses pengendapan.

Koagulasi-flokulasi merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam proses penjernihan air. Pada proses ini, koagulan ditambahkan ke dalam air untuk menetralkan muatan partikel koloid sehingga partikel-partikel tersebut bergabung membentuk flok yang lebih besar dan mudah diendapkan (Setyowinanti & Rubianto, 2026). Koagulan berbahan dasar aluminium dan besi telah lama digunakan dalam pengolahan air karena memiliki kemampuan yang baik dalam menurunkan kekeruhan (*turbidity*), *Total Suspended Solid* (TSS), dan parameter kualitas air

lainnya.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa *fly ash* kelapa sawit memiliki karakteristik yang mendukung untuk dimanfaatkan sebagai koagulan alternatif. Safutra et al. melaporkan bahwa ekstrak *fly ash* mampu menurunkan nilai turbiditas, TDS, TSS, dan pH pada pengolahan air (Anggraini et al., 2025). Penelitian lain oleh Aida et al. menunjukkan bahwa kandungan Al_2O_3 dan Fe_2O_3 pada *fly ash* berperan penting dalam proses pembentukan flok. Selain itu, Malau et al. menyatakan bahwa proses ekstraksi menggunakan larutan H_2SO_4 10% menghasilkan *recovery* aluminium dan besi yang sangat tinggi sehingga menghasilkan koagulan dengan efektivitas penurunan turbiditas yang baik.

Penggunaan asam sulfat (H_2SO_4) dipilih karena mampu melarutkan senyawa aluminium dari *fly ash* secara lebih efektif dibandingkan beberapa pelarut lain. Aktivasi menggunakan H_2SO_4 juga dilaporkan memberikan hasil yang lebih optimum dalam menurunkan parameter kualitas air, terutama turbiditas dan TSS. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan H_2SO_4 sebagai pelarut dalam proses ekstraksi *fly ash* untuk menghasilkan koagulan cair yang dapat digunakan pada proses penjernihan air sungai (Sidabutar et al., 2026).

Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi larutan H_2SO_4 sebesar 10%, 12%, dan 14% serta memvariasikan dosis koagulan hasil ekstraksi sebesar 0,5 ml, 0,6 ml, dan 0,7 ml. Variasi tersebut dilakukan untuk menentukan konsentrasi pelarut dan dosis koagulan yang paling efektif dalam menurunkan tingkat kekeruhan air sungai.

Pemanfaatan *fly ash* sebagai koagulan memiliki nilai penting dari aspek lingkungan maupun ekonomi. Dari aspek lingkungan, pemanfaatan limbah abu boiler dapat mengurangi jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan dan menekan potensi pencemaran akibat

penumpukan *fly ash*. Dari aspek ekonomi, penggunaan *fly ash* sebagai koagulan alternatif berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap koagulan konvensional seperti tawas atau alum yang masih banyak digunakan dalam pengolahan air.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas abu boiler (*fly ash*) sebagai koagulan dalam penjernihan air sungai.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi gelas beker, erlenmeyer, labu ukur, pipet ukur, corong kaca, kertas saring, hot plate stirrer, oven, neraca analitik, mortar, dan magnetic stirrer. Bahan yang digunakan terdiri atas *fly ash* boiler, larutan H_2SO_4 , aquadest, dan sampel air sungai.

Variabel Penelitian

Variabel bebas berupa konsentrasi H_2SO_4 (8%, 10%, 12%, dan 14%) serta dosis koagulan *fly ash* (0,5; 0,6; dan 0,7 mL). Variabel tetap meliputi massa *fly ash* 25 g, volume air sungai 500 mL, flokulan 0,5 mL, suhu pengeringan $105^\circ C$, suhu ekstraksi $95^\circ C$, waktu ekstraksi 2 jam, waktu pengeringan 2 jam, waktu pengendapan 1 jam, ukuran ayakan 100 mesh, dan kecepatan pengadukan 250 rpm.

Pembuatan Koagulan

Sampel *fly ash* diambil secara acak dari tumpukan abu boiler, kemudian dicuci menggunakan aquadest dan dikeringkan pada suhu $105^\circ C$ selama 2 jam. Abu kering diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam.

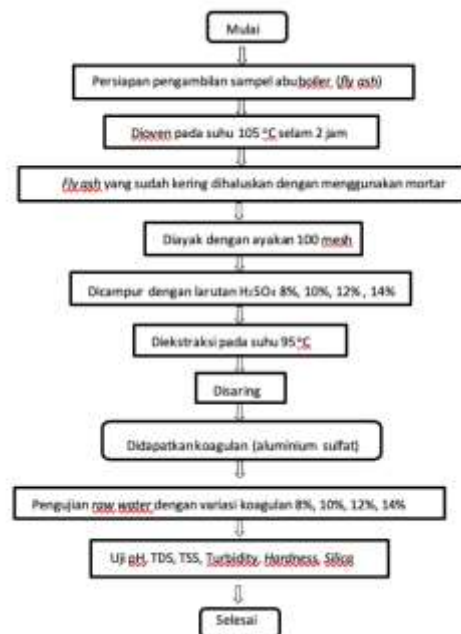
Koagulan dibuat melalui proses ekstraksi padat-cair menggunakan larutan H_2SO_4 dengan variasi konsentrasi 8%,

10%, 12%, dan 14%. Sebanyak 25 g *fly ash* diekstraksi menggunakan 250 mL larutan H_2SO_4 pada suhu $95^\circ C$ selama 2 jam dengan kecepatan pengadukan 250 rpm. Filtrat hasil ekstraksi digunakan sebagai koagulan cair pada proses penjernihan air sungai.

Analisis Parameter

Sampel air sebelum dan sesudah perlakuan dianalisis terhadap parameter pH, Total Dissolved Solid (TDS), Total Suspended Solid (TSS), turbiditas, silika, dan hardness. Pengukuran dilakukan menggunakan metode standar laboratorium dan alat DR 890 untuk parameter TSS, turbiditas, dan silika.

Uraian Diagram Alur Penelitian



Gambar 1 Uraian Diagram Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik awal air sungai menunjukkan bahwa sampel yang digunakan masih memiliki kualitas yang perlu diperbaiki sebelum dapat digunakan sebagai air baku. Hasil pengujian awal menunjukkan nilai pH sebesar 5, TDS 34 ppm, TSS 18 ppm, turbidity 25 NTU,

hardness 8 ppm, dan silica 33 ppm. Nilai pH yang bersifat asam menunjukkan bahwa air sungai mengandung senyawa yang dapat meningkatkan keasaman, sedangkan tingginya nilai turbidity dan TSS menunjukkan masih banyaknya partikel tersuspensi dan partikel koloid yang berada di dalam air. Selain itu, kandungan silica yang cukup tinggi menunjukkan adanya mineral silikat yang terbawa oleh aliran sungai sehingga berpotensi mempengaruhi kualitas air apabila tidak dilakukan pengolahan.

Sebelum digunakan sebagai bahan baku koagulan, *fly ash* dikarakterisasi menggunakan SEM-EDS untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur yang terkandung di dalamnya. Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa partikel *fly ash* memiliki bentuk yang tidak seragam, berukuran bervariasi, dan memiliki permukaan yang relatif kasar. Struktur permukaan yang kasar tersebut menunjukkan potensi luas permukaan kontak yang cukup besar sehingga dapat mendukung pelepasan komponen aktif selama proses ekstraksi dan meningkatkan interaksi dengan partikel pencemar di dalam air. Analisis EDS menunjukkan bahwa unsur dominan pada *fly ash* adalah Si sebesar 40,81%, diikuti C sebesar 22,97%, K sebesar 12,70%, Ca sebesar 6,08%, dan Fe sebesar 4,15%, sedangkan kandungan Al yang terdeteksi relatif kecil yaitu 0,29%. Hasil ini menunjukkan bahwa efektivitas koagulan tidak hanya dipengaruhi oleh aluminium, tetapi juga oleh kontribusi unsur Fe, Ca, dan mineral lain yang terlarut selama proses ekstraksi menggunakan H_2SO_4 (Susilawati et al., 2026).

Pengujian pH setelah proses koagulasi menunjukkan bahwa seluruh perlakuan menghasilkan peningkatan pH dibandingkan kondisi awal. Nilai pH meningkat dari 5 menjadi 6,5–7,5 setelah penambahan koagulan hasil ekstraksi *fly ash*. Pada konsentrasi H_2SO_4 8% dan 10%, nilai pH relatif stabil pada angka

6,5, sedangkan peningkatan yang lebih nyata terjadi pada konsentrasi H_2SO_4 12% dan 14%. Nilai pH tertinggi diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 14% dengan dosis *fly ash* 0,7 mL yaitu sebesar 7,5. Peningkatan pH ini menunjukkan bahwa koagulan hasil ekstraksi *fly ash* mampu memperbaiki kondisi air yang semula bersifat asam menjadi mendekati netral. Kondisi pH yang mendekati netral sangat penting karena dapat meningkatkan efektivitas proses koagulasi dan pembentukan flok yang lebih stabil.

Pada parameter TDS, seluruh perlakuan menunjukkan peningkatan dibandingkan kondisi awal. Nilai TDS meningkat dari 34 ppm menjadi 243–492 ppm, dengan nilai tertinggi diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 14% dan dosis *fly ash* 0,7 mL. Peningkatan ini menunjukkan bahwa selama proses ekstraksi menggunakan H_2SO_4 terjadi pelarutan komponen mineral yang terkandung dalam *fly ash* sehingga ion-ion hasil ekstraksi masih berada dalam larutan setelah proses koagulasi berlangsung. Unsur-unsur seperti K, Ca, Fe, Mg, dan mineral lainnya yang terdeteksi pada hasil EDS diduga berkontribusi terhadap peningkatan kandungan zat terlarut tersebut. Meskipun nilai TDS meningkat cukup signifikan, kondisi ini tidak menunjukkan kegagalan proses pengolahan karena peningkatan tersebut terjadi bersamaan dengan penurunan parameter TSS dan turbidity yang sangat besar. Dengan demikian, proses koagulasi tetap efektif dalam menghilangkan partikel tersuspensi meskipun terdapat penambahan ion terlarut dari koagulan hasil ekstraksi.

Hasil pengujian TSS menunjukkan bahwa koagulan hasil ekstraksi *fly ash* mampu menurunkan kandungan padatan tersuspensi secara signifikan. Nilai TSS awal sebesar 18 ppm turun menjadi 1–18 ppm setelah proses koagulasi. Penurunan terbesar diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 14% dengan dosis *fly ash* 0,7 mL, dimana nilai TSS berhasil diturunkan hingga 1

ppm. Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi H_2SO_4 mampu melarutkan lebih banyak komponen aktif dari *fly ash* sehingga kemampuan koagulan dalam mendestabilisasi partikel tersuspensi menjadi lebih baik. Semakin tinggi dosis *fly ash* yang digunakan, semakin besar pula jumlah komponen aktif yang berperan dalam proses pembentukan flok sehingga partikel-partikel tersuspensi dapat bergabung membentuk agregat yang lebih besar dan mudah mengendap.

Penurunan yang serupa juga terjadi pada parameter turbidity. Nilai kekeruhan air sungai turun dari 25 NTU menjadi 2–22 NTU setelah proses pengolahan. Nilai turbidity terendah diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 14% dengan dosis *fly ash* 0,7 mL yaitu sebesar 2 NTU. Penurunan turbidity yang sejalan dengan penurunan TSS menunjukkan adanya hubungan yang erat antara kedua parameter tersebut. Semakin banyak partikel tersuspensi yang berhasil diendapkan, maka tingkat kekeruhan air juga semakin rendah. Keberadaan unsur Fe dan Ca pada *fly ash* diduga membantu proses destabilisasi partikel koloid sehingga pembentukan flok berlangsung lebih efektif dan menghasilkan air yang lebih jernih.

Parameter hardness menunjukkan pola yang berbeda dibandingkan TSS dan turbidity. Pada beberapa perlakuan terjadi peningkatan hardness akibat terlarutnya unsur Ca dan Mg dari *fly ash* selama proses ekstraksi, sedangkan pada konsentrasi H_2SO_4 yang lebih tinggi terjadi penurunan hardness. Kondisi terbaik diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 14% dengan dosis *fly ash* 0,7 mL, dimana nilai hardness turun dari 8 ppm menjadi 6 ppm.

Penurunan ini menunjukkan bahwa selain mampu menghilangkan partikel tersuspensi, koagulan hasil ekstraksi *fly ash* juga berpotensi mengurangi sebagian ion penyebab kesadahan melalui mekanisme adsorpsi, kopresipitasi, atau

pengikatan bersama flok yang terbentuk selama proses sedimentasi.

Pengujian silica menunjukkan bahwa kadar silica setelah pengolahan berada pada rentang 11–32 ppm. Pada konsentrasi H_2SO_4 rendah masih terjadi kecenderungan peningkatan kadar silica akibat kontribusi silica dari *fly ash* yang memiliki kandungan Si cukup tinggi. Namun, peningkatan konsentrasi H_2SO_4 hingga 10%, 12%, dan 14% menghasilkan penurunan kadar silica yang semakin besar.

Nilai silica terendah diperoleh pada konsentrasi H_2SO_4 14% dengan dosis *fly ash* 0,7 mL yaitu sebesar 11 ppm, sehingga terjadi penurunan sebesar 22 ppm dibandingkan kondisi awal. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses koagulasi yang berlangsung efektif tidak hanya mampu menyisihkan partikel tersuspensi, tetapi juga membantu mengurangi kandungan silica yang terdapat di dalam air sungai.

Secara keseluruhan, peningkatan konsentrasi H_2SO_4 dan dosis *fly ash* memberikan pengaruh yang positif terhadap efektivitas proses pengolahan air sungai. Konsentrasi H_2SO_4 yang lebih tinggi menghasilkan ekstraksi komponen aktif yang lebih besar sehingga kemampuan koagulan dalam memperbaiki kualitas air semakin meningkat. Kondisi optimum diperoleh pada penggunaan H_2SO_4 14% dengan dosis *fly ash* 0,7 mL, yang menghasilkan pH 7,5, TDS 492 ppm, TSS 1 ppm, turbidity 2 NTU, hardness 6 ppm, dan silica 11 ppm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa koagulan hasil ekstraksi *fly ash* mampu memberikan keseimbangan terbaik antara peningkatan kualitas air dan efektivitas proses koagulasi-flokulasi.

Dengan demikian, *fly ash* limbah kelapa sawit berpotensi dimanfaatkan sebagai alternatif koagulan yang efektif, bernilai ekonomis, dan lebih ramah lingkungan dalam proses penjernihan air sungai.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pemanfaatan abu boiler (*fly ash*) sebagai koagulan dalam penjernihan air sungai, dapat disimpulkan bahwa koagulan cair berhasil dibuat melalui metode ekstraksi padat-cair (*leaching*) menggunakan pelarut H_2SO_4 dengan variasi konsentrasi 8%, 10%, 12%, dan 14%. Hasil karakterisasi SEM-EDS menunjukkan bahwa *fly ash* mengandung unsur utama seperti Si, K, Ca, dan Fe yang berpotensi mendukung proses koagulasi. Penggunaan koagulan hasil ekstraksi *fly ash* terbukti berpengaruh terhadap peningkatan kualitas air sungai, di mana semakin tinggi konsentrasi H_2SO_4 dan variasi *fly ash*, semakin baik efektivitas pengolahannya. Kondisi optimum diperoleh pada penggunaan H_2SO_4 14% dengan variasi *fly ash* 0,7%, yang menghasilkan pH 7,5, TDS 492 ppm, TSS 1 ppm, turbidity 2 NTU, hardness 6 ppm, dan silika 11 ppm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa koagulan hasil ekstraksi *fly ash* berpotensi dimanfaatkan sebagai alternatif koagulan yang efektif dalam pengolahan air sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpandari, H., & Prakoso, T. (2021). Tindakan Pengembalian Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Upaya Memaksimalkan Zero Waste (Palm Oil Mill Waste Return Measures as an Effort to Maximize Zero waste). *Journal of Agribusiness and Agrotechnology*, 2(2), 48–58.
- Anggraini, S., Ramayanti, C., & Dewi, E. (2025). Pemanfaatan Limbah Fly Ash Sebagai Koagulan dalam Pengolahan Air Menggunakan Metode Kalsinasi dan Ekstraksi Padat Cair. *Chemical Engineering Journal Storage*, 5(6), 1266–1284. <https://doi.org/10.29103/cejs.v5i6.24478>
- Harefa, T., Lubis, Y., & Martial, T. (2025). Analisis Kebijakan Usaha Perkebunan Kelapa Sawit Dengan Penggunaan Pupuk Limbah Pabrik. *Jesya (Jurnal Ekonomi & Ekonomi Syariah)*, 8(1), 736–750. <https://doi.org/10.36778/jesya.v8i1.2012>
- Rum, A., Fachira, N., Suwayya, A., Gultom³, K., Faizah, M., Syahrani, P., & Aidha, Z. (2025). PEMANFAATAN LIMBAH PADAT KELAPA SAWIT DI PTPN X. 4(3), 317–325.
- Setyowinanti, H. D., & Rubianto, L. (2026). PENGARUH VARIASI DOSIS PAC TERHADAP PENURUNAN KADAR TSS DAN TURBIDITY PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK GULA SECARA KOAGULASI DAN FLOKULASI. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 12(2), 218–228. <https://doi.org/10.33795/distilat.v12i>
- Sidabutar, A., Esti Utami, N., Muljani, S., & Pujiastuti, C. (2026). Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Aluminium Sulfat dari Fly Ash dengan Metode Koagulasi-Flokulasi. *Jurnal Serambi Engineering*, XI(1), 16526–16532.
- Susilawati, Nur Afini Turnip, Azzahra Khairani Siregar, & Amanda Aqiilah. (2026). Pemanfaatan Koagulan Pac (Poly Aluminium Chloride) d. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Dan Riset Pendidikan*, 4(3), 16921–16930. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i3.4851>