EFEKTIVITAS BIOKOAGULAN AMPAS TEBU TERDELIGNIFIKASI NAOH PADA PENGOLAHAN POME

Sekar Ayu Setyowati[1)], Nur Aulia Putri[1)], dan Noorma Kurnyawaty[1)]

[1]Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Jl. DR. Ciptomangunkusumo, Samarinda, 75131

E-mail: sekarayu@polnes.ac.id

Abstract

Sugarcane bagasse is an abundant agro-industrial byproduct with significant potential as a bio-coagulant precursor due to its high cellulose content. This study aimed to evaluate the effectiveness of sugarcane bagasse-based bio-coagulants produced through delignification using an 8% NaOH solution for the treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME). Delignification was conducted by kinetic maceration at 120°C for 2 h using different volumes of 8% NaOH. The delignified bagasse was subsequently dried, ground into powder, and applied as a bio-coagulant in POME treatment. Bio-coagulant performance was assessed based on changes in Total Suspended Solids (TSS), Total Dissolved Solids (TDS), turbidity, and pH. The results demonstrated that the NaOH volume used during delignification affected the performance of the resulting bio-coagulant. The highest treatment efficiency was obtained at a NaOH volume of 250 mL, achieving removal efficiencies of 100% for TSS and TDS, and 95,60% for turbidity. However, bio-coagulant application also increased the pH of the treated effluent, indicating a shift toward alkaline conditions. Overall, the findings suggest that delignified sugarcane bagasse has strong potential as an effective, low-cost, and environmentally friendly bio-coagulant for POME treatment.

Keywords: *Biocoagulant; Delignification; POME; Sodium Hydroxide; Sugarcane Bagasse.*

Abstrak

Ampas tebu merupakan produk sampingan agroindustri yang melimpah dan memiliki potensi signifikan sebagai bahan baku biokoagulan berkat kandungan selulosa yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keefektifan biokoagulan berbahan dasar ampas tebu yang dihasilkan melalui proses delignifikasi menggunakan larutan NaOH 8% untuk pengolahan *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Proses delignifikasi dilakukan dengan maserasi kinetik pada suhu 120°C selama 2 jam menggunakan volume larutan NaOH 8% yang bervariasi. Ampas tebu yang telah melalui proses delignifikasi kemudian dikeringkan, digiling menjadi bubuk, dan digunakan sebagai biokoagulan dalam pengolahan POME. Kinerja biokoagulan dinilai berdasarkan perubahan *Total Suspended Solids* (TSS), *Total Dissolved Solids* (TDS), kekeruhan, dan pH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume NaOH yang digunakan selama proses delignifikasi memengaruhi kinerja biokoagulan yang dihasilkan. Efisiensi pengolahan tertinggi dicapai pada volume NaOH sebesar 250 mL, dengan efisiensi penghilangan sebesar 100% untuk TSS dan TDS, serta 95,60% untuk kekeruhan. Namun, penggunaan biokoagulan juga meningkatkan nilai pH limbah cair yang diolah, yang mengindikasikan pergeseran ke arah kondisi alkali. Secara keseluruhan, temuan ini menunjukkan bahwa ampas tebu yang telah melalui proses delignifikasi memiliki potensi besar sebagai biokoagulan yang efektif, berbiaya rendah, dan ramah lingkungan untuk pengolahan POME.

Kata Kunci: *Ampas Tebu; Biokoagulan; Delignifikasi; POME; NaOH.*

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar yang dikenal sebagai Palm Oil Mill Effluent (POME). Limbah ini memiliki kandungan polutan organik

dan anorganik yang tinggi, ditandai oleh pH asam, kekeruhan tinggi, serta konsentrasi *Total Suspended Solids* (TSS) dan *Total Dissolved Solid*s (TDS) yang besar. Tanpa pengolahan yang memadai, POME berpotensi mencemari lingkungan dan menurunkan kualitas perairan (Soo et al., 2022). Salah satu metode prapengolahan yang efektif untuk menghilangkan partikel tersuspensi dan koloid adalah koagulasi-flokulasi (Priatna et al., 2023). Meskipun efektif, penggunaan koagulan kimia berbasis logam seperti tawas dan poli-aluminium klorida (PAC) dapat menghasilkan lumpur kimia dan menimbulkan dampak lingkungan. Oleh karena itu, biokoagulan alami menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu bahan yang berpotensi dimanfaatkan adalah ampas tebu (*sugarcane bagasse*), yang kaya akan lignoselulosa dan polimer alami sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan baku biokoagulan (Massaid et al., 2024; Iwuozor et al., 2023). Agar senyawa aktif dalam ampas tebu dapat berfungsi optimal sebagai biokoagulan, diperlukan proses delignifikasi untuk mengurangi kandungan lignin yang menghambat akses terhadap gugus aktif polisakarida. Keberhasilan proses ini dipengaruhi oleh kondisi delignifikasi, termasuk volume larutan alkali yang digunakan. Penggunaan larutan alkali secara bertahap terbukti mampu mendekomposisi matriks lignoselulosa dan meningkatkan keterpaparan gugus aktif, namun kondisi yang terlalu ekstrem berpotensi merusak struktur selulosa yang berperan penting dalam mekanisme koagulasi (Gupta et al., 2020).

Delignifikasi ampas tebu umumnya dilakukan melalui perendaman dalam larutan alkali dengan waktu kontak relatif lama, sedangkan penggunaan panas dan pengadukan pada maserasi kinetik berpotensi mempercepat perpindahan massa dan proses delignifikasi. Selain itu, pengaruh rasio padat–cair larutan NaOH terhadap karakteristik dan kinerja filtrat sebagai biokoagulan masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengevaluasi variasi volume NaOH 8% pada delignifikasi menggunakan maserasi kinetik berbantuan panas pada 120°C selama 120 menit. Efektivitas filtrat hasil delignifikasi sebagai biokoagulan POME dinilai berdasarkan perubahan pH serta penurunan TDS, TSS, dan kekeruhan.

METODE PENELITIAN

1. Populasi dan Sampel

Ampas tebu diperoleh secara acak dari pedagang, sedangkan sampel POME pekat berasal dari kolam anaerobik pabrik kelapa sawit setempat. Variabel bebas berupa volume larutan NaOH 8% pada proses delignifikasi (50, 100, 150, 200, dan 250 mL per 5 g ampas tebu), sedangkan variabel terikat meliputi pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), *Total Suspended Solids* (TSS), dan kekeruhan (*turbidity*) POME setelah proses koagulasi.

2. Preparasi dan Delignifikasi Ampas Tebu

Ampas tebu dicuci, dikeringkan, digiling, dan diayak 100 mesh. Sebanyak 5 g ampas tebu didelignifikasi dengan NaOH 8% pada 120°C selama 120 menit. Filtrat disimpan pada 4°C sebagai biokoagulan.

3. Pengaplikasian Biokoagulan pada POME

Sebanyak 1.000 mL POME dari kolam anaerobik ditambahkan biokoagulan, kemudian dilakukan jar test (120 rpm, 2 menit; 40 rpm, 10 menit) dan sedimentasi 60 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menyajikan karakteristik awal POME yang digunakan sebagai sampel penelitian dan nilai efisiensi pengolahan menggunakan biokoagulan dalam menurunkan parameter pencemar.

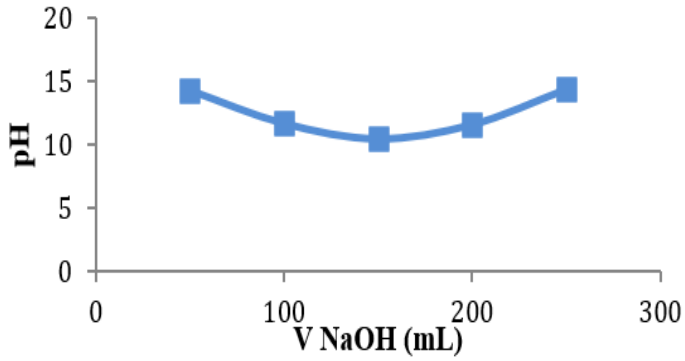
Tabel 1
Karakterisitik dan Efisiensi Pengolahan POME

No	Karakteristik	POME*	Nilai setelah pengolahan				
			50	100	150	200	250
1	pH	3,6	14,32	11,68	10,45	11,57	14,38
2	Kekeruhan (NTU)	1000	89,60	90,80	91,30	92,00	95,60
3	TDS (mg\L)	15000	99,97	99,99	99,98	99,99	100
4	TSS (mg\L)	20000	99,97	99,99	99,98	99,99	100

Sumber: *Diadaptasi dari Putri dkk. (2025).

Analisis pH

Gambar 1 menunjukkan perubahan nilai pH POME setelah pengolahan menggunakan biokoagulan berbasis ampas tebu yang diproduksi melalui proses delignifikasi dengan variasi volume NaOH 8%.

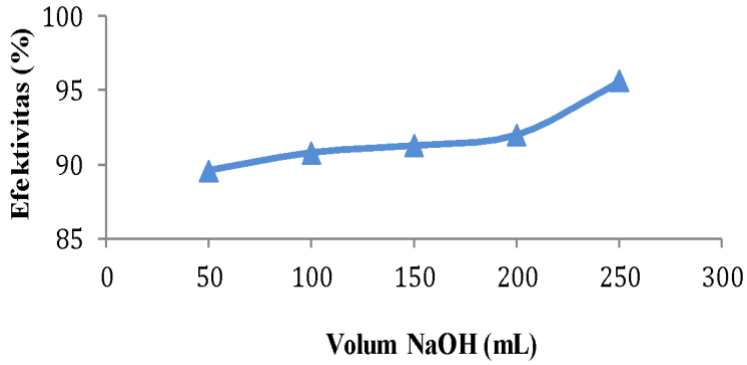


Gambar 1. Hubungan Volume NaOH 8% dengan Nilai pH POME Hasil Pengolahan

Berdasarkan Gambar 1, nilai pH pada metode maserasi kinetik menurun pada volume NaOH 50–150 mL, kemudian meningkat kembali pada volume 200–250 mL. Secara keseluruhan, seluruh perlakuan menghasilkan pH akhir yang bersifat basa, yaitu 10,45-14,38, dibandingkan pH awal POME sebesar 3,60. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pengolahan tidak hanya menetralkan kondisi asam POME, tetapi juga menghasilkan peningkatan alkalinitas yang cukup tinggi. Pada volume rendah, pelepasan asam organik dari matriks ampas tebu berlangsung lebih intensif sehingga mengonsumsi ion OH^- dan menurunkan pH. Sebaliknya, pada volume tinggi, distribusi panas dan pengadukan yang lebih homogen mampu mempertahankan kapasitas alkali NaOH, sehingga pH kembali meningkat. Pola ini sejalan dengan prinsip transfer massa pada proses ekstraksi (Zainol et al., 2023). Namun, peningkatan pH tersebut perlu dipandang secara kritis karena seluruh nilai pH setelah pengolahan berada di atas rentang baku mutu pH air limbah industri minyak sawit, yaitu 6,0–9,0. Nilai pH yang mencapai 14,32 dan 14,38 pada volume NaOH masing-masing 50 dan 250 mL mengindikasikan adanya kondisi alkalinitas yang berlebih, yang kemungkinan berkaitan dengan penggunaan NaOH 8% pada proses delignifikasi. Penggunaan ampas tebu sebagai biokoagulan memang dapat meningkatkan efektivitas pengolahan, tetapi karakteristik proses ekstraksi alkali dan kondisi pH perlu dipertimbangkan dalam penerapannya sebagai biokoagulan (Iwuozor et al., 2023). Dengan demikian, biokoagulan berbasis ampas tebu menunjukkan efektivitas yang baik dalam proses koagulasi, tetapi masih memerlukan pengendalian pH untuk menghasilkan efluen yang memenuhi persyaratan lingkungan.

Analisis Kekeruhan

Efektivitas penurunan kekeruhan dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi volume NaOH 8% pada proses delignifikasi ampas tebu terhadap kinerja biokoagulan dalam pengolahan POME. Hasil pengamatan disajikan pada Gambar 2. Efektivitas penurunan kekeruhan (*turbidity*) POME menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya volume pelarut pada proses sintesis biokoagulan menggunakan metode maserasi kinetik. Efektivitas penurunan kekeruhan meningkat dari 89,60% pada volume pelarut 50 mL menjadi 95,60% pada volume 250 mL. Hasil ini menunjukkan bahwa volume pelarut berperan penting dalam meningkatkan efisiensi ekstraksi komponen aktif dari ampas tebu yang berfungsi sebagai agen koagulan.



Gambar 2. Pengaruh Variasi Volume NaOH 8% terhadap Efektivitas Penurunan Kekeruhan

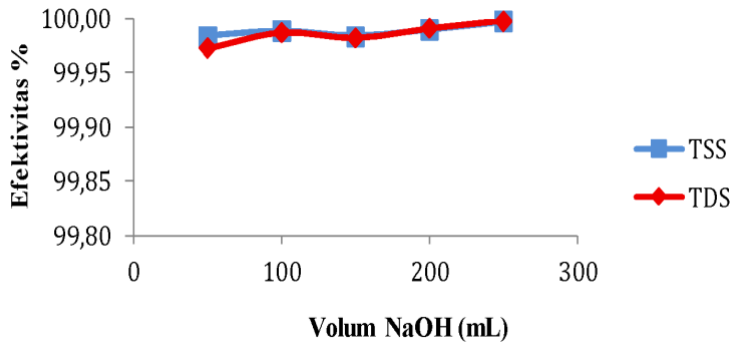
Penurunan nilai kekeruhan pada POME menggunakan biokoagulan berbasis ampas tebu terjadi melalui mekanisme netralisasi muatan (*charge neutralization*) dan pembentukan jembatan polimer (polymer bridging). Partikel koloid dalam limbah agroindustri umumnya bermuatan negatif sehingga saling tolak-menolak dan tetap tersuspensi secara stabil dalam fase cair (Bahrodin et al., 2021). Setelah melalui proses delignifikasi, ampas tebu memiliki kandungan polisakarida yang lebih dominan dan berperan sebagai polimer alami dengan rantai karbon panjang serta berbagai gugus fungsional aktif (Bahrodin et al., 2022). Gugus-gugus ini mampu berinteraksi dengan partikel terdispersi, menghubungkannya menjadi agregat yang lebih besar melalui mekanisme polymer bridging (Iwuozor et al., 2023). Seiring terbentuknya flok yang semakin besar dan padat, partikel-partikel tersebut menjadi lebih mudah mengendap,

sehingga konsentrasi padatan tersuspensi berkurang dan nilai kekeruhan POME menurun secara signifikan (Koul et al., 2022).

Analisis TDS dan TSS

Kinerja biokoagulan berbasis ampas tebu dalam menurunkan TDS dan TSS pada POME yang dipengaruhi oleh proses delignifikasi yang dilakukan menggunakan larutan NaOH 8% disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, efektivitas pengolahan POME menunjukkan tren yang relatif stabil dan sangat tinggi pada seluruh variasi volume NaOH 8% pada parameter TSS dan TDS, dengan nilai berada pada kisaran 99, 90 %. Seiring peningkatan volume NaOH dari 50 mL hingga 250 mL, efektivitas penurunan TDS cenderung meningkat meskipun terjadi sedikit fluktuasi pada volume 150 mL. Penurunan efektivitas pada volume 150 mL diduga disebabkan oleh kondisi ekstraksi yang belum optimal, sehingga jumlah senyawa aktif yang terekstraksi belum cukup untuk membentuk flok yang kuat dan stabil.



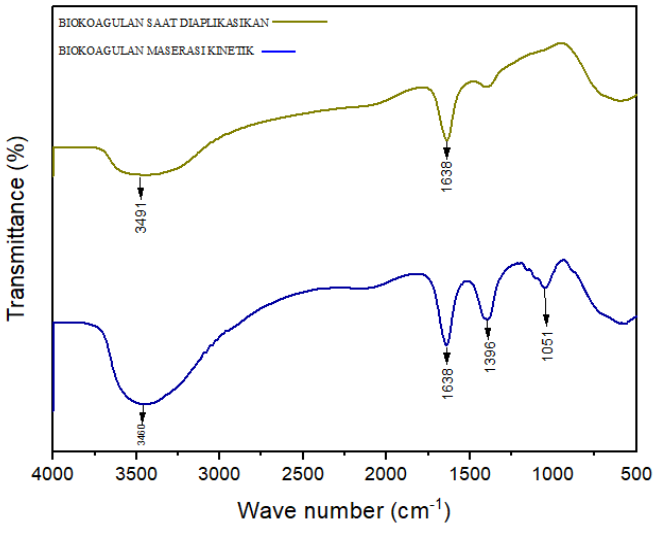
Gambar 3. Pengaruh Variasi Volume NaOH 8% terhadap Efektivitas Penurunan Kekeruhan

Pada variasi volume agen delignifikasi 250 mL, proses delignifikasi ampas tebu berlangsung lebih efektif dalam mengurangi kandungan lignin sekaligus meningkatkan ketersediaan komponen polisakarida aktif yang berperan dalam proses koagulasi (Bahrodin et al., 2022). Pada maserasi kinetik, pengadukan mekanis meningkatkan kontak antara NaOH dan ampas tebu sehingga lignin lebih efektif terdegradasi dan gugus aktif koagulan lebih banyak terekspos. Selain itu, luas permukaan kontak yang lebih besar turut meningkatkan efisiensi ekstraksi senyawa aktif. Kondisi ini menghasilkan

biokoagulan dengan jumlah gugus fungsional aktif, seperti gugus hidroksil, yang memadai tanpa menyebabkan kerusakan berlebih pada struktur selulosa (Iwuozor et al., 2023). Ketersediaan senyawa aktif tersebut mendukung terjadinya mekanisme charge neutralization dan polymer bridging secara lebih optimal (Bahrodin et al., 2021). Melalui kedua mekanisme ini, partikel-partikel koloid bermuatan negatif dalam limbah dapat saling berikatan membentuk flok yang lebih besar dan stabil. Flok yang terbentuk kemudian lebih mudah mengendap, sehingga konsentrasi padatan tersuspensi dalam limbah berkurang dan nilai *Total Suspended Solids* (TSS) mengalami penurunan yang signifikan (Koul dkk., 2022). Penurunan TDS dan TSS mengindikasikan berkurangnya kandungan padatan terlarut dalam limbah POME, sehingga kualitas efluen menjadi lebih baik.

Analisis FTIR

Analisis FTIR yang menunjukkan perbandingan spektrum kedua sampel memberikan informasi mengenai perubahan karakteristik kimia serta gugus fungsi yang terlibat dalam proses koagulasi-flokulasi. Hasil analisis FTIR disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan spektrum FTIR biokoagulan ampas tebu terdelignifikasi dan endapan hasil pengolahan limbah POME.

Spektrum FTIR biokoagulan hasil maserasi kinetik setelah delignifikasi dengan NaOH 8% (garis biru) menunjukkan keberadaan gugus fungsional utama lignoselulosa, yaitu –OH (3460 cm^{-1}), C=O/H–O–H (1638 cm^{-1}), C–H alifatik (1396 cm^{-1}), dan C–

O/C–O–C (1051 cm^{-1}). Keberadaan gugus-gugus tersebut menunjukkan bahwa proses delignifikasi berhasil mengekspos komponen aktif selulosa yang berperan dalam proses koagulasi (Bahrodin dkk., 2022).

Setelah diaplikasikan pada POME (garis hijau), pita –OH bergeser dari 3460 cm^{-1} menjadi 3491 cm^{-1} dan mengalami pelebaran, yang mengindikasikan adanya interaksi antara gugus hidroksil dan partikel koloid. Pita 1638 cm^{-1} tetap terdeteksi dengan intensitas lebih tinggi, sedangkan intensitas pita 1396 cm^{-1} dan 1051 cm^{-1} menurun setelah koagulasi. Perubahan ini menunjukkan keterlibatan gugus aktif biokoagulan dalam pembentukan flok melalui mekanisme penetralan muatan dan bridging, sehingga partikel tersuspensi dapat teraglomerasi dan lebih mudah mengendap (Alazaiza dkk., 2022).



(a) (b)

Gambar 5. Pengamatan visual proses koagulasi-flokulasi POME:
(a) pembentukan flok, (b) sampel POME setelah pengolahan.

Berdasarkan Gambar 5(a), proses koagulasi-flokulasi POME menggunakan biokoagulan berbasis ampas tebu hasil delignifikasi NaOH 8% dengan maserasi kinetic menghasilkan flok yang mengendap di dasar wadah. Pembentukan flok terjadi akibat interaksi gugus aktif biokoagulan dengan partikel koloid dan padatan tersuspensi, sehingga terbentuk agregat yang lebih besar dan mudah dipisahkan dari fase cair. Sementara itu, Gambar 5(b) menunjukkan peningkatan kejernihan POME setelah perlakuan. Berkurangnya warna gelap dan kekeruhan mengindikasikan bahwa flok yang terbentuk mampu mengadsorpsi dan mengendapkan partikel penyebab kekeruhan. Secara visual, hasil ini menunjukkan efektivitas biokoagulan ampas tebu hasil delignifikasi NaOH 8% dalam meningkatkan kualitas POME melalui mekanisme koagulasi-flokulasi.

SIMPULAN

Variasi volume NaOH 8% pada proses delignifikasi memengaruhi kinerja biokoagulan ampas tebu dalam pengolahan limbah POME. Volume 250 mL memberikan hasil terbaik dengan efektivitas penurunan kekeruhan sebesar 95,60%, penurunan TDS dan TSS

100%. FTIR menunjukkan bahwa gugus aktif –OH, C=O, dan C–O berperan dalam proses koagulasi-flokulasi. Hasil ini mengindikasikan bahwa ampas tebu terdelignifikasi oleh NaOH 8% dengan metode maserasi kinetic berpotensi sebagai biokoagulan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah cair kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

Alazaiza, M. Y., Albahnasawi, A., Ali, G. A., Bashir, M. J., Nassani, D. E., Al Maskari, T., ... & Abujazar, M. S. S. (2022). Application of natural coagulants for pharmaceutical removal from water and wastewater: a review. *Water*, *14*(2), 140.

Bahrodin, M. B., Zaidi, N. S., Hussein, N., Sillanpää, M., Prasetyo, D. D., & Syafiuddin, A. (2021). Recent advances on coagulation-based treatment of wastewater: Transition from chemical to natural coagulant. *Current Pollution Reports*, *7*(3), 379-391.

Bahrodin, M. B., Zaidi, N. S., Kadier, A., Hussein, N., Syafiuddin, A., & Boopathy, R. (2022). A novel natural active coagulant agent extracted from the sugarcane bagasse for wastewater treatment. *Applied Sciences*, *12*(16), 7972.

Gupta, R., Aswal, V. K., & Saini, J. K. (2020). Sequential dilute acid and alkali deconstruction of sugarcane bagasse for improved hydrolysis: Insight from small angle neutron scattering (SANS). *Renewable Energy*, *147*, 2091-2101.

Iwuozor, K. O., Adeniyi, A. G., Emenike, E. C., Ojeyemi, T., Egbemhenghe, A. U., Okorie, C. J., ... & Saliu, O. D. (2023). Prospects and challenges of utilizing sugarcane bagasse as a bio-coagulant precursor for water treatment. *Biotechnology Reports*, *39*, e00805.

Koul, B., Bhat, N., Abubakar, M., Mishra, M., Arukha, A. P., & Yadav, D. (2022). Application of natural coagulants in water treatment: a sustainable alternative to chemicals. *Water*, *14*(22), 3751.

Massaid, A., Putra, S. A., Anandhito, M. V., Habibullah, A. Z., Maharjan, N., & Putra, A. A. (2024). The Effectiveness of Gambir Leaves (Uncaria gambir roxb) as A Biocoagulant in Reducing Pollutant in Palm Oil Mill Effluent. *Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, *4*(3), 186-192.

Priatna, S. J., Hakim, Y. M., Alfarizi, M. A., Sailah, S., & Mohadi, R. (2023). Palm oil mill effluent (POME) precipitation using ammonium-intercalated clay coagulant. *Communications in Science and Technology*, *8*(1), 10-15.

Putri, N. A., Setyowati, S. A., Suciningrum, A. T., Kurniawan, A., & Adhiksana, A. (2026). Optimasi volume NaOH pada proses delignifikasi ampas tebu untuk produksi biokoagulan dan aplikasinya dalam pengolahan limbah cair POME. Journal Research and Education Chemistry, volume 8, 233-245.

Soo, P. L., Bashir, M. J., & Wong, L. P. (2022). Recent advancements in the treatment of palm oil mill effluent (POME) using anaerobic biofilm reactors: Challenges and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, *320*, 115750.

Zainol, N., Aziz, N. H., & Baharudin, A. S. (2023). Influence of agitation and solvent percentage on the extraction of phytochemical compound from Asystasia gangetica. *Food Chemistry Advances*, *3*, 100538.