

EFEKTIVITAS BIOKOAGULAN CANGKANG TELUR DAN KULIT PISANG DALAM MENURUNKAN TSS PADA AIR LIMBAH TAMBANG BATUBARA

EFFECTIVENESS OF EGGSHELL AND BANANA PEEL BIOCOAGULANTS IN REDUCING TSS IN COAL MINE WASTEWATER

Eva Novita Sari¹, Eni Muryani^{2,*}, Tissia Ayu Algary³, Titi Tiara Anasstasia⁴,
Ekha Yogafanny⁵, Mhd. Marliansyah⁶

^{1,2,3,4,5}Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, UPN Veteran Yogyakarta
Jalan Ring Road Utara, Ngropoh, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

*Email corresponding: enimuryani@gmail.com

Email: novitasari851@gmail.com

Email: tissiaayu@gmail.com

Email: tiara.anasstasia@gmail.com

Email: ekha.yogafanny@upnyk.ac.id

⁶PT Mifa Bersaudara, Aceh Barat, Indonesia

How to cite: E. N. Sari, E. Muryani, T. A. Algary, T. T. Anasstasia, E. Yogafanny, and M. Marliansyah, "Effectiveness of Eggshell and Banana Peel Biocoagulants in Reducing TSS in Coal Mine Wastewater" *Kurvatek*, vol. 10, no. 2, pp. 189-198, 2025. doi: 10.33579/krvtk.v10i2.6196 [Online].

Abstrak — Industri pertambangan batubara menghasilkan limbah cair yang berpotensi mencemari lingkungan. Hasil analisis air limbah tambang batubara di PT Mifa Bersaudara menunjukkan parameter pH, Fe, dan Mn sudah sesuai baku mutu. Namun, kadar *Total Suspended Solid* (TSS) masih melebihi batas yang ditetapkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas awal air limbah tambang batubara serta menganalisis efektivitas cangkang telur dan kulit pisang sebagai biokoagulan alami dalam menurunkan TSS. Penelitian dilakukan melalui uji laboratorium menggunakan metode jar test pada air limbah dari *Water Monitoring Point* 13 di PT Mifa Bersaudara. Variasi yang digunakan meliputi dosis koagulan cangkang telur (0-5 g/L) dan kulit pisang (0-2 g/L) dengan waktu sedimentasi 30, 60, 90 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis optimum cangkang telur 2 g/L pada waktu 30 menit dapat menurunkan TSS dari 489 mg/L menjadi 138 mg/L, sedangkan dosis kulit pisang 1 g/L dapat menurunkan TSS menjadi 181 mg/L. Pemanfaatan biokoagulan alami ini terbukti efektif dan berpotensi menjadi alternatif ramah lingkungan sebagai pengganti koagulan kimia dalam pengolahan air limbah tambang batubara.

Kata kunci: Air Limbah Tambang, Biokoagulan, Cangkang Telur, Kulit Pisang, TSS

Abstract — The coal mining industry produces liquid waste that has the potential to pollute the environment. The analysis results of coal mine wastewater at PT Mifa Bersaudara show that the parameters pH, Fe, and Mn already meet quality standards. However, the *Total Suspended Solids* (TSS) level still exceeds the established limit. This research aims to analyze the initial quality of coal mine wastewater and to analyze the effectiveness of eggshells and banana peels as natural biocoagulants in reducing TSS. The study was conducted thru laboratory testing using the jar test method on wastewater from *Water Monitoring Point* 13 at PT Mifa Bersaudara. The variations used include the dosage of eggshell coagulant (0-5 g/L) and banana peel (0-2 g/L) with sedimentation times of 30, 60, and 90 minutes. The research results show that the optimum dosage of eggshell is 2 g/L at 30 minutes, which can reduce TSS from 489 mg/L to 138 mg/L, while the dosage of banana peel is 1 g/L, which can reduce TSS to 181 mg/L. The use of these natural biocoagulants is proven effective and has the potential to be an environmentally friendly alternative to chemical coagulants in coal mine wastewater treatment.

Keywords: Mine Wastewater, Biocoagulant, Eggshell, Banana Peel, TSS

I. PENDAHULUAN

Pertambangan batubara merupakan salah satu sektor industri yang memiliki peran penting dalam penyediaan energi di Indonesia. Batubara dimanfaatkan dalam berbagai sektor seperti pembangkit listrik, transportasi, dan rumah tangga untuk mendukung pertumbuhan ekonomi nasional [1]. Namun, aktivitas penambangan batubara dapat menimbulkan dampak lingkungan, salah satunya adalah pencemaran air, gangguan ekosistem, dan risiko kesehatan jangka panjang [2]. Permasalahan utama yang sering ditemui adalah meningkatnya kandungan padatan tersuspensi (TSS) pada air limbah tambang yang berdampak pada penurunan kualitas perairan. Kondisi ini menunjukkan perlunya upaya pengolahan air limbah yang efektif dan berkelanjutan untuk menjaga kelestarian lingkungan. Upaya pengolahan tersebut penting dilakukan untuk mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan di sektor pertambangan.

Hasil analisis kualitas air limbah di PT Mifa Bersaudara, Aceh Barat menunjukkan bahwa parameter pH, Fe, dan Mn memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003. Namun, nilai TSS pada air limbah tambang batubara di WMP 13 mencapai 489 mg/L, melebihi batas baku mutu yaitu 400 mg/L. Tingginya TSS pada limbah tambang dapat menyebabkan kekeruhan, menurunkan penetrasi cahaya, mengganggu fotosintesis organisme perairan, dan berdampak negatif pada ekosistem akuatik. Jika tidak diolah dengan baik, limbah cair tambang akan terbawa ke badan air permukaan dan menurunkan kualitas air yang digunakan masyarakat sekitar. Tingginya kadar padatan tersuspensi dalam air juga dapat meningkatkan kekeruhan, sehingga menghambat penetrasi cahaya matahari yang diperlukan untuk proses fotosintesis fitoplankton. Dalam jangka panjang, pencemaran ini berpotensi menurunkan keanekaragaman hayati perairan dan memperburuk kondisi lingkungan hidup [3].

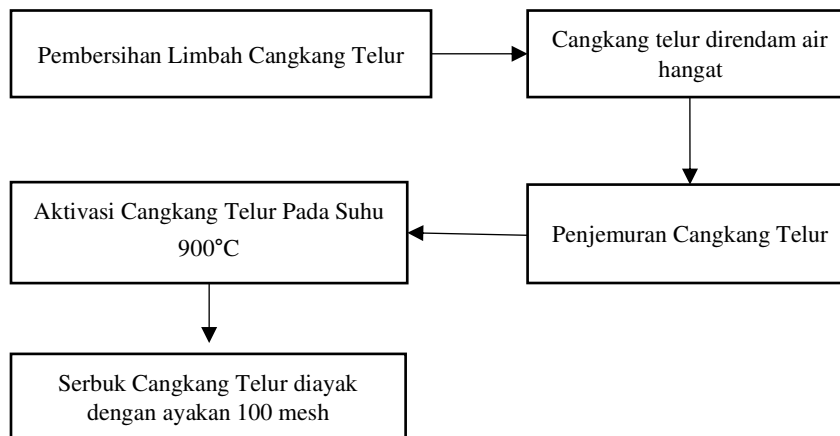
Proses pengolahan limbah tambang pada umumnya dilakukan dengan metode koagulasi-flokulasi untuk menurunkan kekeruhan dan kandungan polutan organik [4]. Di PT Mifa Bersaudara khususnya pada *Water Monitoring Point* (WMP) 13, telah dilakukan *pre-treatment* menggunakan koagulan kimia berupa aluminium sulfat (tawas). Penggunaan koagulan kimia kurang ramah terhadap lingkungan karena dapat menyebabkan permasalahan bagi lingkungan [5]. Salah satunya yaitu menghasilkan residu lumpur aluminium yang sulit terurai, berpotensi menyumbat saluran dan membutuhkan pengolahan lanjutan yang berdampak pada peningkatan biaya. Selain itu, ketergantungan pada bahan kimia impor membuat ketersediannya kurang stabil, terutama di daerah terpencil. Dari sisi lingkungan, penggunaan tawas tidak sejalan dengan prinsip *green technology* dan pembangunan berkelanjutan karena berpotensi menambah pencemaran. Oleh karena itu, diperlukan alternatif koagulan yang lebih ramah terhadap lingkungan, mudah diperoleh dan tetap efektif menurunkan TSS. Salah satu bahan alami yang melimpah di sekitar area operasional dan belum dimanfaatkan secara optimal adalah cangkang telur dan kulit pisang [6].

Cangkang telur memiliki kandungan utama kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan koagulan dan dapat mengatasi kekeruhan air limbah tambang batubara [7]. Kulit pisang memiliki kandungan selulosa, lignin, dan karbon aktif yang dapat digunakan untuk menjernihkan air [8]. Pemanfaatan biokoagulan kulit pisang efektif untuk mereduksi TSS pada limbah cair industri [9]. Selain itu, koagulan kulit pisang terbukti dapat menurunkan TSS mencapai 90% pada kondisi optimum [10]. Kedua bahan ini dapat digunakan sebagai biokoagulan untuk mengikat partikel pada air limbah. Biokoagulan merupakan koagulan alami yang berperan untuk mengikat partikel pada air limbah [11]. Pemanfaatan biokoagulan cangkang telur dan kulit pisang lebih ramah terhadap lingkungan sehingga tidak berdampak negatif bagi makhluk hidup, mengurangi ketergantungan terhadap koagulan kimia, mendukung penerapan *prinsip circular economy*. Dengan demikian, penggunaan biokoagulan dari limbah organik ini dapat menjadi alternatif teknologi pengolahan limbah cair tambang batubara yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan sesuai dengan arah pembangunan hijau (*green development*). Oleh karena itu, penelitian bertujuan untuk menganalisis kualitas awal air limbah tambang batubara dan menganalisis efektivitas cangkang telur dan kulit pisang sebagai biokoagulan alami dalam menurunkan kadar *Total Suspended Solid* (TSS).

II. METODE PENELITIAN

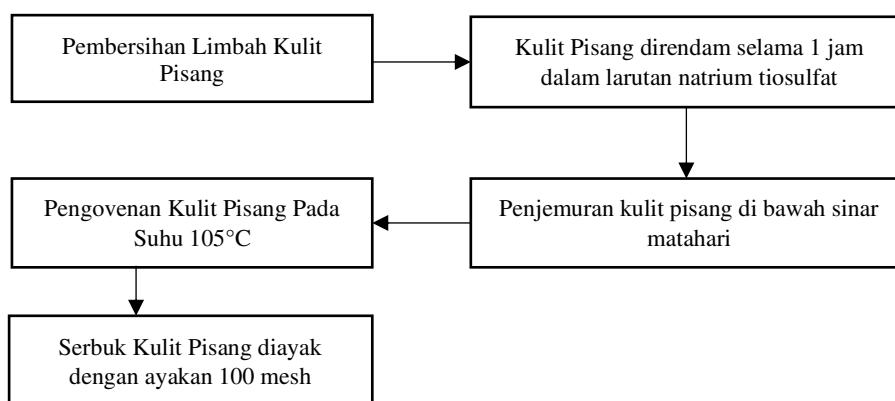
Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Sampel air limbah tambang batubara diambil secara *grab sampling* dari WMP 13 PT Mifa Bersaudara, Aceh Barat. Hasil analisis air limbah tambang batubara menunjukkan parameter pH, Fe, dan Mn sudah sesuai baku mutu, namun demikian, terdapat parameter yang masih melebihi baku mutu yaitu kadar *Total Suspended Solid* (TSS). Oleh karena itu, dilakukan pengolahan menggunakan biokoagulan alami berupa cangkang telur dan kulit pisang yang dapat dijadikan sebagai alternatif ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah organik yang belum dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan kedua limbah ini tidak hanya menurunkan TSS, tetapi juga dapat mengurangi jumlah timbunan sampah di lingkungan sekitar.

Cangkang telur yang digunakan berasal dari limbah kantin yang terdapat di area operasional pertambangan batubara. Selanjutnya cangkang telur dibersihkan, direndam dengan air hangat, dilakukan penjemuran di bawah sinar matahari untuk mengurangi kadar air, kemudian dilakukan kalsinasi pada suhu 900 °C selama 1 jam untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel pada cangkang agar siap digunakan sebagai bahan koagulan. Hasil kalsinasi yang telah dilakukan terdapat perbedaan secara fisik akibat pengaruh suhu 900°C dengan perbedaan warna cangkang telur menjadi semakin putih dan memiliki tekstur halus dan tidak menimbulkan bau [12]. Perubahan warna tersebut menunjukkan bahwa cangkang telur sudah mengalami aktivasi dan siap digunakan sebagai alternatif pengganti koagulan kimia dalam pengolahan air limbah. Hasil kalsinasi di ayak menggunakan saringan 100 mesh sehingga diperoleh serbuk dengan tekstur halus. Serbuk ini kemudian disimpan dalam wadah tertutup untuk mencegah kontaminasi udara dan kelembaban sebelum digunakan dalam pengolahan air limbah tambang batubara.



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Kerja Pembuatan Koagulan Cangkang Telur

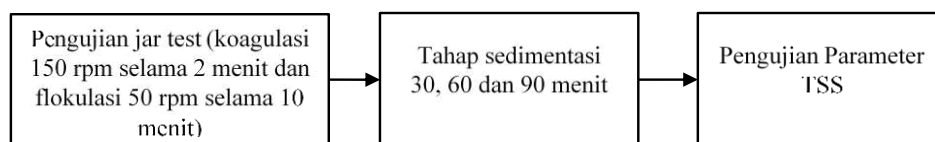
Kulit Pisang yang digunakan berasal dari limbah kantin yang terdapat di area operasional pertambangan batubara. Selanjutnya kulit pisang direndam selama 1 jam dalam larutan Natrium Tiosulfat, dilakukan penjemuran kulit pisang di bawah sinar matahari untuk menghilangkan kadar air, kemudian dilakukan pengovenan pada suhu 105 °C. Terdapat perubahan visual pada serbuk kulit pisang setelah dilakukan pengovenan pada suhu 105 °C yaitu warna kulit pisang menjadi semakin cokelat dan memiliki tekstur halus. Perubahan ini menunjukkan keberhasilan kulit pisang sebagai biokoagulan. Selain itu, serbuk kulit pisang yang telah dioven menjadi bubuk halus dan tidak berbau menyengat sehingga dapat digunakan sebagai alternatif koagulan dalam pengolahan air limbah [13]. Hasil pengovenan di ayak menggunakan saringan 100 mesh sehingga diperoleh serbuk dengan tekstur halus. Serbuk halus hasil pengeringan kemudian disimpan dalam wadah tertutup agar tidak terkontaminasi sebelum digunakan dalam proses pengolahan air limbah.



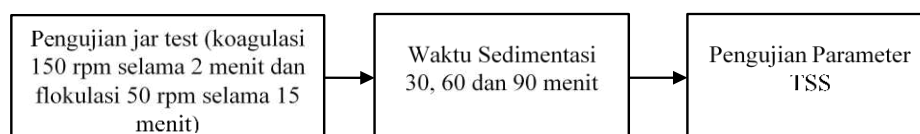
Gambar 2. Diagram Alir Prosedur Kerja Pembuatan Koagulan Kulit Pisang

Pengujian dilakukan dengan metode jar test menggunakan variasi dosis cangkang telur 0-5 g/L dan kulit pisang 0-2 g/L. Tahap koagulasi dilakukan pengadukan cepat 150 rpm selama 2 menit dan pengadukan

lambat 50 rpm selama 10 menit. Setelah flock terbentuk, sampel kemudian dibiarkan untuk sedimentasi dengan variasi 30, 60 dan 90 menit. Jadi, waktu tersebut tidak menggantikan waktu kontak, namun untuk melihat efektif flock yang sudah terbentuk dan dipisahkan. Tanpa proses koagulasi flokulasi, sedimentasi saja tidak dapat menurunkan TSS secara signifikan. Oleh karena itu, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui dosis optimum dan waktu sedimentasi yang efektif dalam menurunkan konsentrasi TSS menggunakan biokoagulan alami.



Gambar 3. Diagram Alir Prosedur Kerja Pembuatan Koagulan Cangkang Telur



Gambar 4. Diagram Alir Prosedur Kerja Pembuatan Koagulan Kulit Pisang

Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif untuk menentukan dosis optimum dan menghitung persentase efisiensi penurunan TSS. Selain itu, dilakukan analisis regresi linear sederhana untuk mengetahui pengaruh variasi dosis biokoagulan dan waktu sedimentasi terhadap penurunan TSS. Hasil analisis regresi ditampilkan dalam bentuk persamaan garis, koefisien determinasi (R^2), serta uji signifikansi menggunakan analisis varians (ANOVA). Analisis ini bertujuan untuk melihat kekuatan hubungan antara variabel bebas (dosis dan waktu sedimentasi) dengan variabel terikat (penurunan TSS), sekaligus menguji apakah variasi perlakuan memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap efektivitas pengolahan air limbah tambang batubara.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Kualitas Air Limbah Tambang Batubara

Sampel air limbah diambil dari *Water Monitoring Point* (WMP) 13 PT Mifa Bersaudara. Parameter yang dianalisis meliputi pH, TSS, Fe, dan Mn. Hasil analisis menunjukkan nilai pH sebesar 7,89 yang masih sesuai dengan baku mutu lingkungan (6-9). Konsentrasi Fe dan Mn juga berada di bawah baku mutu, masing-masing 1,99 mg/L dan 1,77 mg/L. Namun demikian, konsentrasi TSS sebesar 489 mg/L melebihi baku mutu yang ditetapkan, yaitu 400 mg/L. Perairan dengan konsentrasi TSS tinggi dapat mempengaruhi kondisi fisik perairan dan menghambat proses fotosintesis biota di dalamnya [14]. Kondisi ini menunjukkan bahwa TSS merupakan parameter utama yang harus diturunkan melalui pengolahan air limbah. Data hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Fe, Mn, pH, dan TSS di WMP 13 [15]

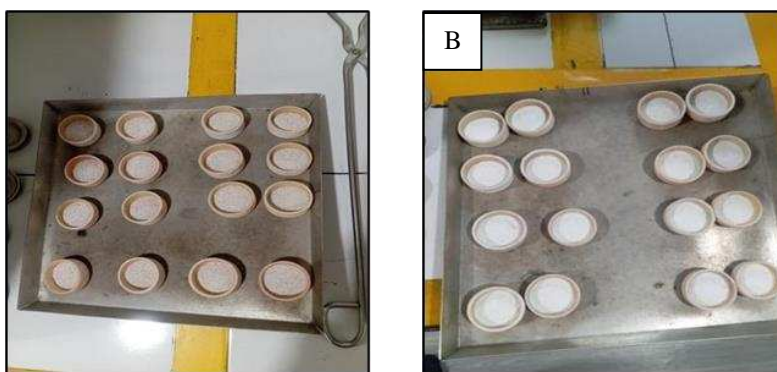
Parameter	Baku Mutu	Satuan	Hasil Pengukuran Tahun 2024		
			September	Oktober	November
Fe	7	mg/L	1,99	1,62	0,80
Mn	4	mg/L	1,77	0,17	0,25
pH	6-9	-	7,89	7,24	7,6
TSS	400	mg/L	489	79,6	55,9

Tabel 1, menunjukkan hasil pengukuran kualitas air limbah tambang batubara dengan penggunaan tawas oleh perusahaan selama tiga bulan berturut-turut meliputi parameter Fe, Mn, pH, dan TSS. Semua parameter tersebut berada dalam batas yang sesuai dengan Baku Mutu Lingkungan. Parameter Fe dan Mn berkaitan dengan TSS. Saat parameter TSS berhasil dikurangi melalui proses koagulasi dan flokulasi, kandungan logam berat juga ikut mengendap bersama flock [16]. pH netral juga mendukung terbentuknya flock stabil dan menjaga kadar Fe dan Mn tetap rendah. Pendekatan hubungan antar parameter digunakan dalam melakukan analisis karakteristik limbah. Jika parameter Fe, Mn dan TSS tinggi, maka akan

berdampak langsung terhadap kejernihan air. Limbah cair dapat menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti menurunnya kualitas air, terganggunya keseimbangan ekosistem, dan menyebabkan kematian pada biota air [17]. Oleh karena itu, air limbah tambang harus diolah terlebih dahulu sebelum dialirkan ke badan air untuk mencegah terjadinya pencemaran. Selain itu, perusahaan juga wajib melakukan pemantauan secara berkala untuk memastikan kualitas air limbah yang dilepas sudah sesuai dengan baku mutu lingkungan yang berlaku.

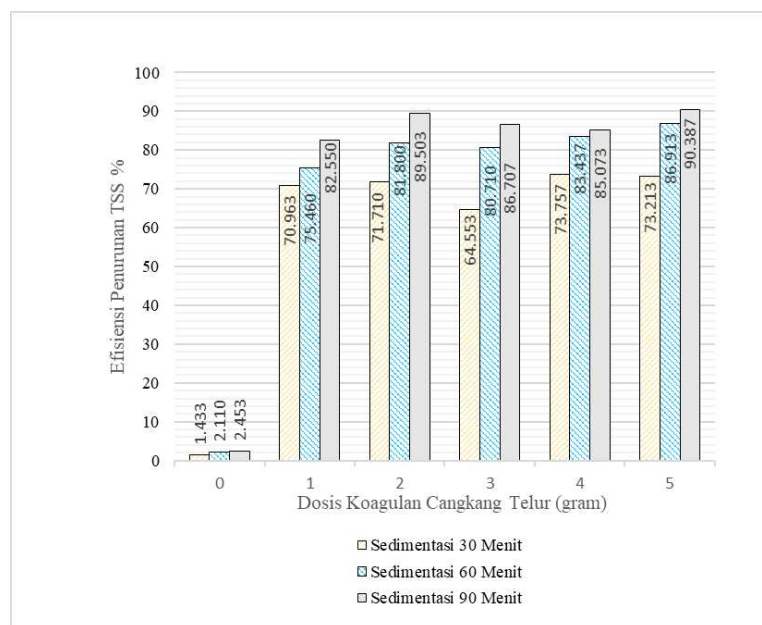
B. Efektivitas Cangkang Telur sebagai Biokoagulan

Cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai bahan koagulan dalam pengolahan air limbah tambang batubara yang dapat mengatasi kekeruhan. Selain itu, penggunaan cangkang telur dalam pengolahan limbah juga bersifat ramah lingkungan, ekonomis dan mudah diperoleh [18]. Secara umum, cangkang telur terdiri dari 94% kalsium karbonat (CaCO_3), 1% kalsium fosfat, 1% magnesium karbonat, dan 4% bahan organik lainnya. Proses kalsinasi cangkang telur dilakukan pada suhu 900°C menghasilkan perubahan visual menjadi semakin putih dan memiliki tekstur halus, dan tidak menimbulkan bau. Perubahan warna tersebut menunjukkan bahwa cangkang telur sudah mengalami aktivasi dan siap digunakan sebagai alternatif pengganti koagulan kimia dalam pengolahan air limbah. CaO bermuatan positif yang dihasilkan mampu menetralkan partikel bermuatan negatif dalam limbah dan mempercepat pembentukan flok. Hal ini sesuai dengan penelitian yang menyebutkan bahwa pemanfaatan kapur CaCO_3 merupakan metode efektif untuk mengendapkan partikel koloid dan menurunkan kadar Fe dan Mn.



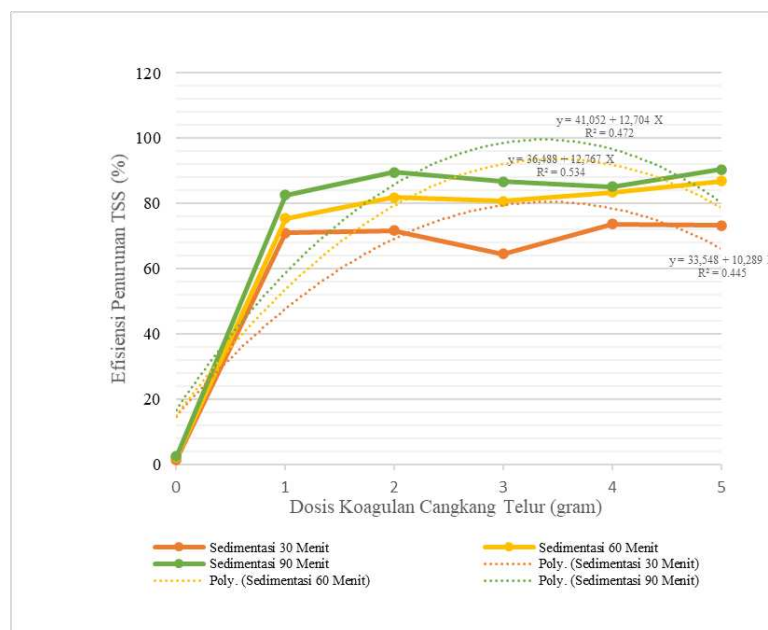
Gambar 5. Hasil Cangkang Telur Tanpa Kalsinasi (A) Kalsinasi Suhu 900°C (B)

Pengujian efektivitas dilakukan dengan variasi dosis 0-5 g/L dan waktu sedimentasi 30,60, dan 90 menit. Secara umum, semakin tinggi dosis yang diberikan maka semakin besar efisiensi penurunan TSS yang dapat dilihat pada Gambar 6. Pada dosis 0 g/L yang digunakan sebagai kontrol, penurunan TSS tidak terjadi karena tidak ada penambahan koagulan yang membantu dalam proses pengendapan. Saat dilakukan penambahan dosis koagulan menjadi 1 g/L, mulai terlihat pembentukan flok yang efektif, ditandai dengan efisiensi penurunan lebih dari 70% terutama pada waktu sedimentasi 60 sampai 90 menit.



Gambar 6. Efisiensi Penurunan TSS (Y) Terhadap Variasi Dosis Koagulan (X) Canggang Telur

Berdasarkan Gambar 6, terdapat hubungan antara dosis dan dosis koagulan cangkang telur dengan efisiensi penurunan TSS. Pada dosis 0 g/L efisiensi sangat rendah yaitu sekitar 1,43% pada waktu sedimentasi 30 menit, 2,11% pada 60 menit dan 2,45% pada waktu 90 menit. Hasil rata-rata efisiensi dosis 0 gram menunjukkan efisiensi rendah karena tidak ada penambahan koagulan. Penambahan dosis 1 gram meningkatkan efisiensi menjadi 70,96% untuk waktu 30 menit, 75,46% untuk waktu 60 menit dan 82,55% untuk waktu 90 menit. Peningkatan ini menunjukkan koagulan mulai efektif untuk mengikat partikel tersuspensi. Selanjutnya untuk dosis 2 gram menghasilkan rata-rata efisiensi 71,71% untuk waktu 30 menit, 81,80% untuk waktu 60 menit dan 89,50% untuk waktu sedimentasi 90 menit. Efisiensi tertinggi untuk waktu 30 menit terjadi pada dosis 4 gram yaitu 85,07%, sedangkan untuk waktu sedimentasi 60 dan 90 menit efisiensi maksimum diperoleh pada dosis 5 gram dengan masing-masing sebesar 86,91% dan 90,39%. Secara statistik, waktu sedimentasi 60 menit memberikan nilai efisiensi yang lebih tinggi. Namun, dari sisi teknis dan efisiensi operasional, penggunaan dosis 2 g/L dengan sedimentasi 30 menit lebih efisien karena sudah mampu menurunkan TSS hingga 138 mg/L dari nilai awal 489 mg/L. Dengan demikian, kondisi ini dinilai paling efektif dan praktis untuk penerapan di lapangan. Oleh karena itu, dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan regresi linear sederhana untuk menguji hubungan antara dosis koagulan dengan penurunan TSS, yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Analisis Polynomial Dosis Koagulan (X) Cangkang Telur Terhadap Efisiensi TSS (Y)

Berdasarkan Gambar 7, hasil analisis regresi linear sederhana menunjukkan adanya hubungan positif antara dosis koagulan cangkang telur dengan efisiensi penurunan TSS pada seluruh variasi waktu sedimentasi. Pada waktu 30 menit diperoleh persamaan regresi $Y = 33,548 + 10,289X$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,455. Artinya, sekitar 45,5% variasi efisiensi dapat dipengaruhi oleh penambahan dosis koagulan. Pada waktu 60 menit, persamaan regresi adalah $Y = 36,488 + 12,767X$ dengan $R^2 = 0,534$, sedangkan pada 90 menit diperoleh persamaan $Y = 41,052 + 12,704X$ dengan $R^2 = 0,472$. Nilai koefisien regresi yang positif menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis koagulan, semakin besar efisiensi penurunan TSS. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dosis optimum terdapat pada 2 g/L dengan waktu sedimentasi 30 menit. Pada kondisi ini, TSS berhasil diturunkan dari 489 mg/L menjadi 138 mg/L dengan hasil efisiensi sebesar 71,76%. Penggunaan dosis di atas 2 g/L dapat menyebabkan deflokulasi karena kelebihan ion kalsium (Ca^{2+}) sehingga partikel koloid bermuatan positif saling tolak-menolak, membuat flok tidak stabil dan sulit mengendap. Secara mekanis, ion kalsium dari cangkang telur berperan menetralkan muatan negatif partikel koloid. Setelah muatan dinetralkan, partikel menjadi tidak stabil, bergabung membentuk flok, dan mengendap pada tahap sedimentasi. Oleh karena itu, pemanfaatan dosis 2 g/L tidak hanya efektif menurunkan TSS secara signifikan, tetapi juga efisien, hemat bahan, serta praktis untuk diaplikasikan di lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa cangkang telur berperan sebagai adsorben alami [19].

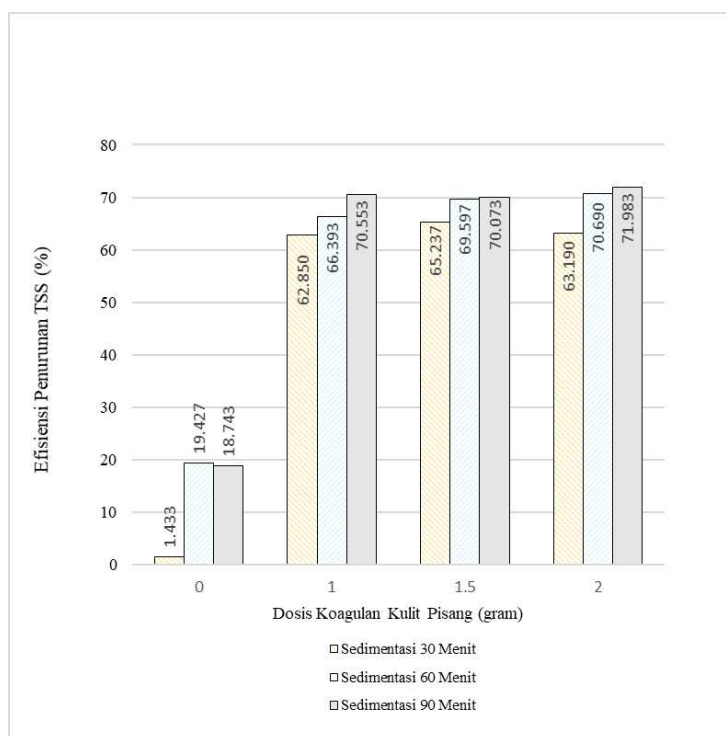
C. Efektivitas Kulit Pisang sebagai Biokoagulan

Penggunaan limbah kulit pisang digunakan karena limbah di area Kabupaten Meulaboh belum dimanfaatkan dengan baik sehingga diharapkan dapat mengurangi limbah yang ada dan mengurangi cost penggunaan tawas. Salah satu limbah industri yang dapat digunakan untuk menjernihkan air adalah kulit pisang yang mengandung selulosa, lignin, dan karbon aktif. Kandungan selulosa pada kulit pisang dapat menyerap ion logam karena adanya asam galakturonat [20]. Sedangkan lignin berperan sebagai senyawa karbon aktif [21]. Proses pengovenan kulit pisang dilakukan pada suhu 105 °C menghasilkan perubahan visual menjadi semakin cokelat dan memiliki tekstur halus, dan tidak menimbulkan bau [22]. Perubahan warna tersebut menunjukkan bahwa kulit pisang siap digunakan sebagai alternatif pengganti koagulan kimia dalam pengolahan air limbah tambang batubara.



Gambar 8. Kulit Pisang Tanpa Pengovenan (A) Pengovenan Suhu 105°C (B)

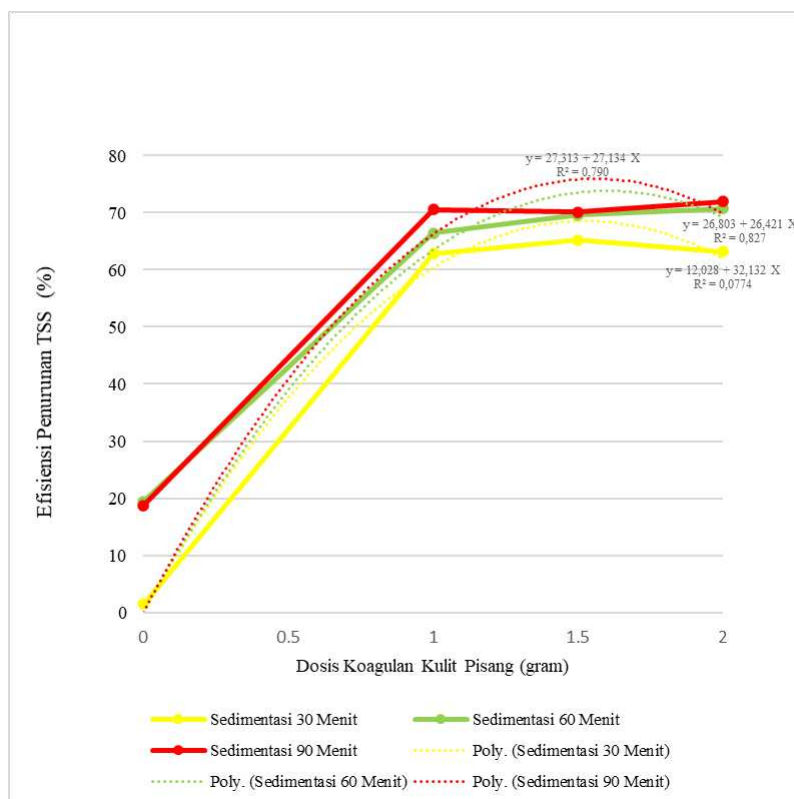
Pengujian efektivitas kulit pisang dilakukan dengan variasi dosis 0-2 g/L dan waktu sedimentasi 30, 60, serta 90 menit. Secara umum, semakin tinggi dosis dan lamanya sedimentasi, maka semakin besar efisiensi penurunan TSS. Pada dosis 0 g/L yang digunakan sebagai kontrol, penurunan TSS tidak terjadi penurunan TSS karena tidak ada penambahan koagulan yang membantu dalam proses pengendapan. Saat dilakukan penambahan dosis koagulan menjadi 1 g/L, mulai terlihat pembentukan flok yang efektif, ditandai dengan efisiensi penurunan lebih dari 62% terutama pada waktu sedimentasi 60 sampai 90 menit.



Gambar 9. Efisiensi Penurunan TSS (Y) Terhadap Variasi Dosis Koagulan (X) Kulit Pisang

Berdasarkan Gambar 9, terdapat hubungan antara dosis koagulan kulit pisang dengan efisiensi penurunan TSS. Pada dosis 0 g/L yang digunakan sebagai kontrol, efisiensi penurunan sangat rendah yaitu 1,43% pada waktu sedimentasi 30 menit, 19,43% pada 60 menit, dan 18,74% pada waktu sedimentasi 90 menit, karena tidak ada penambahan koagulan yang membantu proses pengendapan. Penambahan dosis 1 g/L meningkatkan efisiensi secara signifikan menjadi 62,85% pada waktu sedimentasi 30 menit, 66,39% pada 60 menit, dan 70,55% pada waktu sedimentasi 90 menit. Selanjutnya, pada dosis 1,5 g/L diperoleh rata-rata efisiensi sebesar 65,24% untuk 30 menit, 69,60% untuk waktu sedimentasi 60 menit, dan 70,07% untuk waktu sedimentasi 90 menit. Pada dosis 2 g/L menghasilkan efisiensi sebesar 63,19% pada waktu sedimentasi 30 menit, 70,69% pada waktu 60 menit, dan 71,98% pada waktu 90 menit. Secara statistik, waktu sedimentasi 90 menit menunjukkan hasil yang lebih tinggi. Namun, dari sisi teknis dan efisiensi operasional, penggunaan dosis 1 g/L dengan sedimentasi 30 menit lebih efisien karena sudah mampu

menurunkan TSS hingga 181 mg/L dari nilai awal 489 mg/L. Dengan demikian, kondisi ini dinilai paling efektif dan praktis untuk penerapan di lapangan. Oleh karena itu, dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan regresi linear sederhana untuk menguji hubungan antara dosis koagulan dengan penurunan TSS, yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Analisis Polynomial Dosis Koagulan (X) Kulit Pisang Terhadap Efisiensi TSS (Y)

Berdasarkan Gambar 10, terdapat hubungan signifikan antara dosis koagulan kulit pisang terhadap efisiensi penurunan TSS. Pada sedimentasi 30 menit diperoleh persamaan regresi $Y = 12,028 + 32,132X$ dengan $R^2 = 0,774$, pada 60 menit $Y = 26,803 + 26,421X$ dengan $R^2 = 0,827$, dan pada 90 menit $Y = 27,313 + 21,134X$ dengan $R^2 = 0,790$. Artinya, sekitar 79,0% variasi efisiensi dapat dipengaruhi oleh penambahan dosis koagulan. Nilai koefisien regresi positif menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis koagulan kulit pisang, semakin besar efisiensi penurunan TSS yang diperoleh. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa dosis optimum terdapat pada 1 g/L dengan waktu sedimentasi 30 menit. Pada kondisi ini, TSS berhasil diturunkan dari 489 mg/L menjadi 181 mg/L dengan efisiensi sebesar 62,99%. Penambahan waktu sedimentasi hingga 60 dan 90 menit dapat meningkatkan efisiensi, tetapi tidak memberikan perbedaan yang signifikan dan menyebabkan terjadinya deflokulasi. Hal ini terjadi karena penggunaan bahan berlebih sehingga partikel koloid menjadi bermuatan positif saling tolak-menolak dan menghambat proses pengendapan. Secara mekanis, kandungan lignin, pektin, dan selulosa pada kulit pisang dengan gugus bermuatan positif berperan menetralkan muatan negatif partikel koloid. Setelah muatan dinetralkan, partikel menjadi tidak stabil, bergabung membentuk flok yang lebih besar, dan mengendap pada tahap sedimentasi. Oleh karena itu, pemanfaatan dosis 1 g/L dinilai paling efektif, efisien, dan praktis dalam menurunkan TSS serta layak diterapkan sebagai alternatif biokoagulan alami pada pengolahan air limbah tambang batubara.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa cangkang telur dan kulit pisang dapat dimanfaatkan sebagai biokoagulan alami untuk menurunkan TSS pada air limbah tambang batubara. Dosis optimum cangkang telur terdapat pada dosis 2 g/L dengan waktu sedimentasi 30 menit yang dapat menurunkan TSS dari 489 mg/L menjadi 138 mg/L dengan efektivitas mencapai 80%. Sedangkan dosis

optimum kulit pisang terdapat pada dosis 1 g/L dengan waktu sedimentasi 30 menit dapat menurunkan TSS dari 489 mg/L menjadi 181 mg/L dengan efektivitas mencapai 70%. Kedua bahan ini terbukti lebih ramah terhadap lingkungan dibandingkan dengan penggunaan bahan koagulan kimia, dan mendukung upaya pengolahan limbah sesuai dengan prinsip ekonomi pembangunan berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Mifa Bersaudara atas izin dan dukungan dalam pengambilan sampel air limbah tambang batubara, serta kepada Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta atas fasilitas analisis yang diberikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing dan rekan penelitian yang telah memberikan saran dan bantuan selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. Putra, “Teknologi Pemanfaatan Batubara untuk Menghasilkan Batubara Cair, Pembangkit Tenaga Listrik, Gas Metana dan Briket Batubara,” in *Prosiding Seminar Nasional AVoER Ke-3*, 2011, pp. 309-318.
- [2] B. A. Cahyadinata, “Pemanfaatan Cangkang Telur Ayam Ras sebagai Biokoagulan dalam Pengolahan Air Limbah Domestik (Grey Water) Gampong Punge Blang Cut Kota Banda Aceh,” Banda Aceh: Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, 2023.
- [3] H. Askari, “Perkembangan Pengolahan Air Limbah,” *Carbon (TOC)*, vol. 200, no. 135, pp. 1-10, 2015.
- [4] R. Sufra, J. R. Panjaitan, M. Alhanif, M. Mustafa, F. Yusupandi, E. Adriansyah, G. Rahmadini, M. R. Raqin, P. Herawati, and A. Suzana, “Intensifikasi Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Melalui Proses Koagulasi dan Adsorpsi Studi Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Metode Kombinasi Fisika-Kimia,” *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 7, no. 1, p. 266, 2024.
- [5] S. Ba’adilla, A. W. Nugraha, and 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, pp. 1–17, 2025.
- [6] R. W. Shabrina and H. Hardjono, “Pemanfaatan Koagulan Alami dari Campuran Kitosan dan Biji Asam Jawa pada Pengolahan Air Limbah Penyamakan Kulit,” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 613-621, 2023.
- [7] A. A. Rifai and I. W. Widiarti, “Pengaruh Penambahan Limbah Cangkang Telur Ayam (*Gallus Gallus Domesticus*) dan Kapur Tohor terhadap Parameter pH dan TSS pada Air Asam Tambang,” in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan SATU BUMI*, vol. 5, no. 1, pp. 109-116, 2024.
- [8] A. Risman and E. A. Rahim, “Aplikasi Kulit Pisang Kepok,” *Kovalen*, vol. 2, pp. 53-60, Apr. 2016.
- [9] A. A. Azamzam, “Enhancing the Efficiency of Banana Peel Bio-Coagulant in River Water Treatment,” *Water*, vol. 14, no. 16, p. 2473, 2022.
- [10] T. A. Ramadani, S. D. Setiawan, U. P. Astuti, and N. E. Mayangsari, “Biokoagulan Berbasis Kulit Pisang Kepok untuk Mereduksi TSS dan COD,” *Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna*, vol. 21, no. 1, pp. 29–38, Jun. 2025, doi: 10.14710/metanav21i1.67447.
- [11] S. Bija, I. Yulma, A. Aldian, A. Maulana, and A. Rozi, “Biochoagulant Synthesis Based on Chitosan from Bandeng Fishing Waste and its Application of Reduction of BOD and COD Value of Tofu Waste in Tarakan City,” *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, vol. 23, no. 1, pp. 86-92, 2020.
- [12] R. Mohadi, K. Anggraini, F. Riyanti, and A. Lesbani, “Preparation Calcium Oxide from Chicken Eggshells,” *Sriwijaya Journal of Environment*, vol. 1, no. 2, pp. 32-35, 2016.
- [13] H. N. Hanifah, G. Hadisoebroto, T. Turyati, and I. S. Anggraeni, “Efektivitas Biokoagulan Cangkang Telur Ayam Ras dan Kulit Pisang Kepok (*Musa Balbisiana* abb) dalam Menurunkan Turbiditas, TDS, dan TSS dari Limbah Cair Industri Farmasi,” *Al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, vol. 7, no. 1, pp. 47-54, 2020.

- [14] F. Fathiyah, S. Candra, and R. Timurani, “Dampak Padatan Tersuspensi (TSS) Terhadap Kondisi Perairan dan Fotosintesis Biota Air,” *Jurnal Ilmu Lingkungan Akuatik*, vol. 5, no. 2, pp. 15–22, 2017.
- [15] PT. Mifa Bersaudara, “Data Internal Kualitas Air Limbah Tambang Batubara WMP 13” Meulaboh, 2024, unpublshed.
- [16] G. Nugeraha, S. Sumiyati, and G. Sari, “Pengolahan Air Limbah Kegiatan Penambangan Batubara Menggunakan Biokoagulan: Studi Penurunan Kadar TSS, Total Fe dan Total Mn Menggunakan Biji Kelor (*Moringa oleifera*),” *Jurnal Presipitasi*, vol. 7, no. 2, pp. 57–61, 2010.
- [17] E. Erinda, I. W. Widiarti, N. E. Nugroho, M. Goemaruzzaman, and A. P. Wicaksono, “Analisis Tingkat Pencemaran Airtanah Akibat Limbah Vinasse berdasarkan Metode Indeks Pencemaran di Padukuhan Mrisi, Kalurahan Tirtonirmolo, Kapanewon Kasihan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian (Satu Bumi)*, vol. 6, no. 1, 2024.
- [18] M. Metboki and Y. Lake, “Analisis Masa Pakai Kapur (CaCO_3) dan Zeolit Alam sebagai Bahan Penetral Air Asam dan Penyerap Kadar Logam Fe pada Kolam Pengendapan (Settling Pond) PT. SAG KSO PT. Semen Kupang,” in *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII*, Nov. 2018, pp. 117–123.
- [19] A. D. Moelyaningrum, “Pemanfaatan Cangkang Telur Puyuh sebagai Pengikat Logam Berat Timbal (Pb) dalam Air,” *Jurnal Kesehatan*, vol. 13, no. 2, pp. 96–101, 2020.
- [20] D. Yanuarita, A. S. Pratiwi, and S. M. R. Saragih, “Pemanfaatan Kulit Pisang sebagai Media Penyerapan Logam pada Limbah Cair (Review Jurnal),” *Jurnal Envirotek*, vol. 12, no. 2, pp. 10–18, 2020.
- [21] I. Yuwindry, “Potensi Karbon Aktif Kulit Pisang dalam Penurunan Kadar Amonia di Sungai Barito Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis,” *Jurnal Katalisator*, vol. 7, no. 2, pp. 227–237, 2022.



©2025. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).