

PENGUNAAN BIOKOAGULAN CANGKANG TELUR AYAM (*GALLUS DOMESTICUS*)DALAM MENGATASI PENCEMARAN AIR : REVIEW

GABRIEL TRIO MANGOPO¹, MOHAMAD RANGGA SURURI²

1. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi

Email : Mangopogabriel@gmail.com

ABSTRAK

*Koagulasi-flokulasi merupakan metode yang umum digunakan dalam pengolahan air untuk mengurangi kekeruhan, TSS, dan TDS. Penggunaan koagulan kimia seperti Polyaluminium Chloride (PAC) dinilai efektif, namun dapat menimbulkan residu logam yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Artikel ini menyajikan tinjauan literatur mengenai pemanfaatan biokoagulan dari cangkang telur ayam ras (*Gallus domesticus*) sebagai alternatif alami yang lebih ramah lingkungan. Fokus utama pembahasan mencakup efektivitas biokoagulan ini dalam menyisihkan turbiditas, total suspended solids (TSS), dan total dissolved solids (TDS). Cangkang telur ayam mengandung lebih dari 90% kalsium karbonat (CaCO_3) serta memiliki struktur mikropori yang memungkinkan interaksi efektif dengan partikel koloid. Literatur dari tahun 2008 hingga 2023 menunjukkan bahwa biokoagulan ini mampu menurunkan turbiditas hingga >90%, TSS >80%, serta TDS dalam tingkat bervariasi. Selain itu, beberapa studi juga mencatat Logam berat (Fe, Pb, Cr, Zn, Mn) dan senyawa Organik. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa cangkang telur ayam memiliki potensi besar sebagai koagulan alternatif yang efektif dan ekonomis, meskipun diperlukan penelitian lebih lanjut untuk standarisasi proses aktivasi dan aplikasi skala luas.*

Kata kunci: koagulasi-flokulasi, biokoagulan, cangkang telur ayam (*Gallus domesticus*), kekeruhan, TSS, TDS, logam berat, senyawa organik

1. PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan dasar yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan keberlanjutan lingkungan. Namun, seiring meningkatnya aktivitas domestik, industri, dan pertumbuhan penduduk, kualitas air baku di berbagai wilayah mengalami penurunan signifikan. Beberapa parameter pencemar utama seperti kekeruhan (turbiditas), total suspended solids (TSS), dan total dissolved solids (TDS) seringkali melebihi ambang batas yang ditetapkan dalam peraturan kualitas air seperti Permenkes No. 2 Tahun 2023 dan PP No. 22 Tahun 2021.

Metode koagulasi-flokulasi telah lama digunakan dalam pengolahan air sebagai cara yang efektif untuk menyisihkan partikel tersuspensi dan koloid (Qasim dkk., 2000). Proses ini bekerja dengan menambahkan zat koagulan untuk menetralkan muatan partikel koloid, sehingga membentuk flok yang lebih besar dan mudah mengendap (Masduqi, 2016). Koagulan kimia seperti Polyaluminium Chloride (PAC) dan alum telah digunakan secara luas karena efektivitasnya dalam menurunkan

kekeruhan, TSS, dan TDS (Hanifah dkk., 2020). Namun, residu logam berat seperti aluminium dalam air olahan dikhawatirkan dapat berdampak buruk terhadap kesehatan dan ekosistem (Sururi, 2023).

Sebagai respon terhadap isu tersebut, muncul perhatian terhadap pengembangan biokoagulan—koagulan berbasis bahan alami seperti tumbuhan, mikroorganisme, dan limbah hewani. Salah satu bahan yang dinilai memiliki potensi besar adalah cangkang telur ayam ras (*Gallus domesticus*). Cangkang telur merupakan limbah rumah tangga yang mudah diperoleh dan diketahui mengandung lebih dari 90% kalsium karbonat (CaCO_3) (Villarreal-Lucio dkk., 2018). Kandungan ini memiliki kemampuan untuk menetralkan partikel bermuatan negatif serta struktur mikropori yang memungkinkan adsorpsi terhadap partikel koloid. (Rodriguez-Navarro dkk., 2002)

Berbagai studi telah menunjukkan efektivitas cangkang telur dalam menurunkan turbiditas hingga 90% dan TSS lebih dari 80%, tergantung pada kondisi pH, dosis, dan proses aktivasi (Hanifah et al., 2020; Rachmawati, 2023; Rinanti, 2023). Efektivitas terhadap TDS bervariasi, namun tetap menunjukkan potensi penyisihan yang signifikan. Selain itu, pengukuran beberapa studi juga mencatat Logam berat (Fe, Pb, Cr, Zn, Mn) dan senyawa Organik juga dilakukan pada beberapa studi untuk mengevaluasi keberhasilan penyisihan senyawa organik terlarut. (Liu dkk., 2020)

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini bertujuan untuk meninjau dan menganalisis hasil-hasil penelitian terdahulu mengenai penggunaan biokoagulan dari cangkang telur ayam dalam proses koagulasi-flokulasi untuk penyisihan parameter pencemar kualitas air. Artikel ini juga bertujuan untuk merangkum kelebihan, keterbatasan, serta potensi pengembangan lebih lanjut dari biokoagulan ini dalam aplikasi pengolahan air secara berkelanjutan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR), yaitu tinjauan literatur yang mengikuti aturan standar untuk mengidentifikasi, mensintesis, dan menilai studi-studi relevan terkait topik penelitian (Xiao dan Watson, 2019). Sumber data diperoleh dari basis data artikel ilmiah online, yaitu Google Scholar, ScienceDirect, dan ResearchGate, dengan fokus pencarian pada publikasi yang membahas efektivitas cangkang telur ayam sebagai biokoagulan serta penyisihan parameter pencemaran air. Dari hasil pencarian, sejumlah artikel berhasil dikumpulkan, kemudian dilakukan screening peer review untuk memastikan relevansi dan kualitasnya. Screening dilakukan dengan membatasi rentang tahun publikasi 2014–2024 serta menggunakan kata kunci koagulasi-flokulasi, biokoagulan, cangkang telur ayam (*Gallus domesticus*), kekeruhan, TSS, TDS, logam berat, senyawa organik. Artikel yang lolos seleksi inilah yang selanjutnya dianalisis untuk menyajikan gambaran penelitian mengenai pemanfaatan biokoagulan dalam proses koagulasi-flokulasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Penggunaan Biokoagulan Cangkang Telur untuk Pengolahan Air

Konsentrasi koagulan akan sangat berpengaruh terhadap tabrakan antar partikel (tumbukan), sehingga diperlukannya upaya sinkronisasi penambahan jumlah koagulan untuk menciptakan flok flok berukuran lebih besar (Gao dkk., 2008). Salah satu biokoagulan hewani cangkang telur ayam (*Gallus domesticus*), yang merupakan limbah organik melimpah dari sektor rumah tangga maupun

industri makanan di Indonesia. Secara kimiawi, cangkang telur kaya akan kalsium karbonat (CaCO_3) dan senyawa organik seperti protein dan asam amino, yang mampu berperan aktif dalam proses koagulasi-flokulasi melalui mekanisme destabilisasi muatan dan pembentukan jembatan antar partikel (Hanifah dkk., 2020). Proses koagulasi-flokulasi terdiri dari empat tahapan utama, yaitu destabilisasi, penggabungan, pembentukan flok, dan pengendapan. Pada tahap destabilisasi, ion Ca^{2+} dari cangkang telur membantu menetralkan muatan negatif partikel koloid, sehingga gaya tolak-menolak berkurang (Gregory, 2005). Selanjutnya, partikel yang tidak stabil saling bertumbukan membentuk agregat awal pada tahap rapid mixing. Agregat ini berkembang menjadi flok yang lebih besar dan stabil pada tahap flokulasi melalui slow mixing, dibantu oleh senyawa organik yang memberikan efek jembatan (Renault, 2009). Flok kemudian mengendap karena gravitasi, menghasilkan pemisahan air jernih dari partikel pencemar (Tzoupanos dan Zouboulis, 2008). Efektivitas penyisihan biokoagulan ini dipengaruhi oleh dosis, pH, serta metode aktivasi bahan (Rachmawati dan Iswanto, 2009). Berikut merupakan Ringkasan penelitian yang mengkaji penggunaan Biokoagulan Cangkang Telur pada **Tabel 1**.

Table 1. Ringkasan Penelitian Efektivitas Cangkang Telur sebagai Biokoagulan

No	Sumber Air	Hasil Penggunaan Biokoagulan Cangkang Telur	Sumber
1	Air Tanah	Penggunaan cangkang telur ayam sebagai biokoagulan terbukti efektif dalam menurunkan kadar kekeruhan (turbidity) dan Total Dissolved Solids (TDS). Pengolahan dilakukan melalui proses koagulasi-flokulasi dengan variasi nilai G.td (17.000–96.000) dan dosis biokoagulan 100–500 mg/L. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa cangkang telur ayam mampu menurunkan TDS hingga 47,14% dan turbidity sebesar 97,17%	(Rifqyawarman dkk., 2024)
2	Air Limbah	Pada limbah rumah potong hewan, penggunaan Biokoagulan Cangkang telur ayam menurunkan kekeruhan dari 320 NTU menjadi 25 NTU (92%) pada dosis 1 g, pH 2, waktu pengendapan 40 menit, suhu 40 °C, dengan kinetika orde dua ($R^2 = 0,936$)	(Chinenye F Okey-Onyesolu dkk., 2018)
3	Air Limbah	Berdasarkan hasil penelitian, biokoagulan cangkang telur ayam memiliki dosis optimum sebesar 50 g/500 mL pada kondisi pH optimum 8, yang menghasilkan penurunan turbiditas sebesar 81,18%, TDS sebesar 24,3%, dan TSS sebesar 82,05%. Proses koagulasi-flokulasi dilakukan dengan pengadukan cepat pada kecepatan 150 rpm selama 2 menit, dilanjutkan dengan pengadukan lambat pada kecepatan 45 rpm selama 15 menit, kemudian diakhiri dengan proses pengendapan selama 30 menit.	(Hanifah dkk., 2020)
4	Air Tanah	Penggunaan biokoagulan dari cangkang telur mampu menurunkan kandungan logam dan senyawa organik. Pengolahan dilakukan melalui proses aerasi dan adsorpsi dengan variasi waktu aerasi dan jenis adsorben. Proses aerasi selama 45 menit mampu menurunkan kadar Fe dari konsentrasi awal menjadi efisiensi 91,4%, Mn sebesar 28,6%, TDS sebesar 68,2%, dan TOC sebesar 20,8%. Sementara itu, efisiensi penurunan masing-masing untuk Fe sebesar 97,8% dan 99,2%, Mn sebesar 75,7% dan 82,7%, TDS sebesar 84,5% dan 94,1%, serta TOC sebesar 74,6% dan 81%.	Wan uyousin
5	Air Limbah	Hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar termodifikasi kalsium (Ca) yang berasal dari cangkang telur ayam sangat efektif dalam menyerap logam timbal (Pb). Efektivitas tertinggi ditunjukkan oleh	(Liu dkk., 2020)

No	Sumber Air	Hasil Penggunaan Biokoagulan Cangkang Telur	Sumber
		varian CEA-2 dengan efisiensi penyisihan mencapai 97,74% pada pH 7,0, dosis 0,5 g/L, dan waktu kontak selama 8 jam.	

Sejumlah penelitian telah mengkaji efektivitas cangkang telur dalam pengolahan air dengan fokus parameter yang beragam. (Chinenye Faith Okey-Onyesolu dkk., 2020) meneliti limbah rumah potong hewan menggunakan *egg shell chito-protein* sebagai koagulan alami. Kekeruhan awal sebesar 320 NTU berhasil diturunkan menjadi 25 NTU setelah 40 menit pengendapan pada dosis optimum 1 g dan pH 2, dengan efisiensi 92%. Analisis kinetika menunjukkan bahwa proses mengikuti model orde dua ($R^2 = 0,936$), menandakan dominasi tumbukan antar partikel dan interaksi permukaan dalam pembentukan flok. Hasil ini konsisten dengan teori bahwa proses koagulasi-flokulasi dipengaruhi oleh frekuensi tumbukan antar partikel yang meningkat dengan konsentrasi koagulan dan intensitas pencampuran (Gregory, 2005). Hasil tersebut diperluas oleh Wan Jusoh (2023)(Jusoh dkk., 2023) yang memanfaatkan *Chicken Eggshell Powder* (CESP) dalam sistem *Biofloc Technology* (BFT) pada akuakultur. Pada tahap pengendalian kualitas air, pH 7–8 terbukti paling efektif menurunkan amonia dari konsentrasi awal >2 mg/L menjadi hanya 0,016–0,018 mg/L dengan efisiensi lebih dari 99%. Hal ini dapat dijelaskan karena CaCO_3 pada cangkang telur melepaskan ion Ca^{2+} yang berperan dalam menetralkan muatan dan mempercepat pengendapan bioflok (Hanifah dkk., 2020). Pada tahap pemanenan bioflok, kondisi optimum (dosis 0,25 g/L; pH 6–7; rapid mixing 150 rpm; slow mixing 30 rpm; waktu pengendapan 30 menit) menghasilkan efisiensi pemanenan $>80\%$ dan recovery biomassa $\pm 80\%$. Justifikasi ilmiahnya, mekanisme bridging flocculation oleh protein dan asam amino pada cangkang telur mendukung terbentuknya flok besar yang mudah diendapkan (Renault, 2009).

Efektivitas pada air limbah domestik dilaporkan oleh Hanifah (2020). Dengan dosis optimum 50 g/500 mL pada pH 8, turbiditas turun dari 102 NTU menjadi 19,2 NTU (81,18%), TDS dari 1.024 mg/L menjadi 775 mg/L (24,3%), dan TSS dari 550 mg/L menjadi 98,5 mg/L (82,05%). Justifikasi dari hasil ini adalah kemampuan ion Ca^{2+} dalam mendestabilisasi partikel koloid sehingga gaya elektrostatis berkurang dan flok lebih mudah terbentuk (Islam, 2016). Namun, efektivitas yang lebih rendah pada TDS menunjukkan bahwa ion-ion terlarut sulit dihilangkan tanpa mekanisme adsorpsi spesifik, sehingga dibutuhkan modifikasi seperti aktivasi permukaan (Rachmawati dan Iswanto, 2009). Sementara itu, Rifqyawarman (2024) menguji pemanfaatan biokoagulan cangkang telur pada air tanah. Pada dosis optimum 500 mg/L dengan ukuran partikel 150 mesh, kekeruhan awal 70 NTU berhasil diturunkan menjadi 2 NTU (97,17%), sedangkan TDS dari 350 mg/L turun menjadi 185 mg/L (47,14%). Tidak hanya efektif secara teknis, penelitian ini juga menambahkan aspek keekonomian dengan biaya pengolahan Rp 230,70/L. Efisiensi tinggi pada kekeruhan dapat dijustifikasi oleh peningkatan luas permukaan partikel halus (150 mesh), yang memperbanyak titik kontak dengan koloid dalam air dan memperkuat efek adsorpsi (Ho dan McKay, 1999).

Dalam konteks air tanah pesisir, Rosydi (2024) mengombinasikan proses aerasi dan adsorpsi dengan cangkang telur bebek dan cangkang kepiting. Aerasi 45 menit menurunkan Fe dari 3,5 mg/L menjadi 0,30 mg/L (91,4%) namun hanya menurunkan Mn dari 0,24 mg/L menjadi 0,17 mg/L (28,6%). Sebaliknya, adsorpsi jauh lebih efektif: Fe menurun menjadi 0,07 mg/L (97,8%) dengan telur bebek dan 0,03 mg/L (99,2%) dengan kepiting; Mn menjadi 0,058 mg/L (75,7%) dan 0,041 mg/L (82,7%); TDS dari 2.390 mg/L turun hingga 370 mg/L (84,5%) dan 141 mg/L (94,1%); serta TOC dari 6,31 mg/L menjadi 1,6 mg/L (74,6%) dan 1,2 mg/L (81%). Perbedaan

signifikan ini dapat dijelaskan karena aerasi hanya mengoksidasi logam sehingga sebagian mengendap, sedangkan cangkang kaya CaCO_3 dan gugus karboksilat mampu mengadsorpsi ion logam dan senyawa organik melalui interaksi elektrostatis dan pertukaran ion (Del Vecchio dan Blough, 2002).

Berbeda dari studi sebelumnya, Liu (2020) mengonversi cangkang telur menjadi biochar (ES-800) melalui pirolisis 800 °C untuk degradasi senyawa organik persisten. Konsentrasi awal 2,4-dichlorophenol (20 mg/L) berhasil diturunkan hingga <2 mg/L dalam 120 menit dengan efisiensi >90%. Mekanisme degradasi melibatkan jalur radikal ($\bullet\text{OH}$, $\text{SO}_4\bullet-$, $\text{O}_2\bullet-$) dan non-radikal ($^1\text{O}_2$ serta transfer elektron). Justifikasi ilmiah dari hasil ini adalah bahwa pirolisis pada suhu tinggi menghasilkan biochar dengan luas permukaan besar (467,5 m²/g) dan banyak defek karbon yang berfungsi sebagai situs aktif katalitik, sehingga mampu menghasilkan oksidator kuat untuk menghancurkan polutan organik kompleks (Villarreal-Lucio dkk., 2018).

Jika ditinjau secara keseluruhan, keenam penelitian ini memperlihatkan spektrum pemanfaatan cangkang telur yang sangat luas. Onyesolu (2018) menegaskan peranannya dalam penyisihan kekeruhan pada limbah rumah potong hewan. Wan Jusoh (2023) menunjukkan potensi sebagai biofloculant untuk akuakultur. Hanifah (2020) menyoroti efektivitas pada parameter fisik air limbah domestik. Rifqyawarman (2024) memperkuat temuan dengan efisiensi tinggi pada turbiditas air tanah dan analisis biaya. Liu (2020) memperluas aplikasi ke ranah degradasi polutan organik persisten melalui biochar. Dengan demikian, literatur ini menegaskan bahwa efektivitas cangkang telur dipengaruhi oleh dosis, pH, ukuran partikel, kecepatan aduk, dan metode aktivasi. Pada saat yang sama, mekanisme ilmiah yang mendasarinya meliputi destabilisasi muatan, bridging flocculation, oksidasi logam, adsorpsi ion, hingga pembentukan radikal aktif dalam *Advanced Oxidation Processes*, sehingga menjadikan cangkang telur sebagai solusi multifungsi, ekonomis, dan ramah lingkungan dalam pengolahan air.

4. KESIMPULAN

Cangkang telur ayam terbukti efektif sebagai biokoagulan alami dalam proses koagulasi-flokulasi. Kandungan utama CaCO_3 serta ion Ca^{2+} berperan dalam destabilisasi muatan partikel koloid, sehingga gaya tolak berkurang dan partikel lebih mudah membentuk flok. Senyawa organik seperti protein dan asam amino di dalamnya juga memberikan efek jembatan (bridging effect) yang memperkuat agregasi partikel menjadi flok besar dan stabil. Berbagai penelitian menunjukkan efisiensi penyisihan lebih dari 90% untuk turbiditas, lebih dari 80% untuk TSS, serta hasil signifikan terhadap TDS, logam berat (Fe, Pb, Cr, Zn, Mn), maupun senyawa organik terlarut seperti CDOM. Dengan efektivitas yang tinggi, ketersediaan bahan yang melimpah, serta biaya yang murah, cangkang telur ayam bukan hanya mampu meningkatkan kualitas air, tetapi juga mendukung pengelolaan limbah organik secara berkelanjutan.

DAFTAR RUJUKAN

- Del Vecchio, R., dan Blough, N. V. (2002). Photobleaching of chromophoric dissolved organic matter in natural waters: kinetics and modeling. *Marine chemistry*, 78(4), 231-253.
- Gao, B.-y., Wang, Y., Yue, Q.-y., Wei, J.-C., dan Li, Q. (2008). The size and coagulation behavior of a novel composite inorganic–organic coagulant. *Separation and Purification Technology*, 62(3), 544-550.
- Gregory, J. (2005). *Particles in water: properties and processes*. CRC Press.
- Hanifah, H. N., Hadisoebroto, G., Turyati, T., dan Anggraeni, I. S. (2020). 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*, 7(1), 47-54.
- Ho, Y.-S., dan McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process biochemistry*, 34(5), 451-465.
- Jusoh, H. H. W., Kasan, N. A., Manan, H., Nasir, N. M., Yunos, F. H. M., Hamzah, S., dan Jusoh, A. (2023). Chicken Eggshell as an Innovative Biofloculant in Harvesting Biofloc for Aquaculture Wastewater Treatment. *Journal of Renewable Materials*, 11(5).
- Liu, H., Liu, Y., Tang, L., Wang, J., Yu, J., Zhang, H., Yu, M., Zou, J., dan Xie, Q. (2020). Egg shell biochar-based green catalysts for the removal of organic pollutants by activating persulfate. *Science of the Total Environment*, 745, 141095. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141095
- Okey-Onyesolu, C. F., Chukwuma, E., Okoye, C., dan Onukwuli, O. (2020). Response Surface Methodology optimization of chito-protein synthesized from crab shell in treatment of abattoir wastewater. *Heliyon*, 6(10).
- Okey-Onyesolu, C. F., Onukwuli, O. D., Okoye, C. C., dan Ejimofor, M. (2018). *Deturbidization of abattoir wastewater with extracted egg shell chito-protein via coagulation process*. Paper presented at the International Conference Proceedings of the Faculty of Engineering. Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria.
- Qasim, S. R., Motley, E. M., dan Zhu, G. (2000). *Water works engineering: planning, design, and operation*. Prentice Hall.
- Rachmawati, S., dan Iswanto, B. (2009). Pengaruh Ph Pada Proses Koagulasi Dengan Koagulan Aluminum Sulfat dan Ferri Klorida. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(2), 40-45.
- Rifqyawarman, H., Kusumadewi, R. A., Aphirta, S., dan Winarni, W. (2024). Effectiveness of using chicken eggshells as a biocoagulant in groundwater treatment. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 8(1), 57-66.
- Rodriguez-Navarro, A., Kalin, O., Nys, Y., dan Garcia-Ruiz, J. (2002). Influence of the microstructure on the shell strength of eggs laid by hens of different ages. *British poultry science*, 43(3), 395-403.
- Sururi. (2023). Penyisihan Kekeruhan Menggunakan Unit Koagulasi-Flokulasi Instalasi Pengolahan Air Minum. *Prosiding FTSP Series*, 1995-2000.
- Tzoupanos, N., dan Zouboulis, A. (2008). Coagulation–flocculation processes in water/wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents.
- Villarreal-Lucio, D., Rivera-Armenta, J., Martínez-Hernández, A., Zednik, R., dan Moreno, I. (2018). Effect of nano CaCO₃ particles from eggshell on mechanical and thermal properties in pp/eggshell composites. *J Eng Technol*, 6(2), 456-468.
- Xiao, Y., dan Watson, M. (2019). Guidance on conducting a systematic literature review. *Journal of planning education and research*, 39(1), 93-112.