



Evaluasi Efektivitas Koagulan Tawas dan Poly Aluminium Chloride (PAC) terhadap Penurunan Kadar CaCO_3 melalui Proses Sedimentasi

Evaluation of Alum and Poly Aluminium Chloride (PAC) Coagulant Effectiveness on CaCO_3 Reduction through Sedimentation Process

Claudia Shinta Octa Wibowo^{1*}, Hendrini Pujiastuti¹, Imas Masrurroh², Yulis Sutianingsih²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten, Indonesia

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Al-Khairiyah, Cilegon, Banten, Indonesia

*Email: claudia.shinta@untirta.ac.id

Abstrak

Sedimentasi merupakan proses pemisahan padatan tersuspensi yang efektivitasnya dapat ditingkatkan melalui koagulasi dan flokulasi. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh jenis dan dosis koagulan terhadap penurunan kadar kalsium karbonat (CaCO_3) dalam air. Koagulan yang digunakan adalah tawas dan Poly Aluminium Chloride (PAC) dengan variasi dosis 40 g dan 60 g. Kadar CaCO_3 sebelum dan sesudah perlakuan dianalisis menggunakan metode titrasi kompleksometri EDTA, kemudian efektivitas proses ditentukan berdasarkan efisiensi penyisihan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh perlakuan mampu menurunkan kadar CaCO_3 . Efisiensi penyisihan pada tawas 40 g dan 60 g masing-masing sebesar 25,00% dan 33,33%, sedangkan PAC 40 g dan 60 g menghasilkan efisiensi sebesar 33,33% dan 43,75%. PAC 60 g memberikan kinerja terbaik karena mampu membentuk flok yang lebih stabil dan mudah mengendap.

Kata kunci: Sedimentasi; CaCO_3 ; Koagulasi; PAC; Tawas

Abstract

Sedimentation is a solid-liquid separation process whose effectiveness can be improved through coagulation and flocculation. This study aimed to evaluate the effect of coagulant type and dosage on the reduction of calcium carbonate (CaCO_3) concentration in water. The coagulants used were alum and Poly Aluminium Chloride (PAC) with dosage variations of 40 g and 60 g. CaCO_3 concentration before and after treatment was analyzed using EDTA complexometric titration, while process performance was evaluated based on removal efficiency. The results showed that all treatments reduced CaCO_3 concentration. Alum at 40 g and 60 g achieved removal efficiencies of 25.00% and 33.33%, respectively, while PAC at 40 g and 60 g achieved 33.33% and 43.75%, respectively. PAC at 60 g showed the best performance due to its ability to form more stable and settleable flocs.

Keywords: Sedimentation; CaCO_3 ; Coagulation; PAC; Alum

Pendahuluan

Air merupakan sumber daya penting bagi kehidupan dan aktivitas industri. Peningkatan kebutuhan air bersih harus diimbangi dengan pengendalian kualitas air baku, karena air dapat mengandung kontaminan organik maupun anorganik. Salah satu senyawa anorganik yang banyak dijumpai adalah kalsium karbonat (CaCO_3), yang berkaitan dengan kesadahan dan potensi pembentukan kerak pada pipa, boiler, kondensor, serta penukar kalor [1], [2]. Endapan CaCO_3 dapat menurunkan efisiensi perpindahan

panas, meningkatkan konsumsi energi, dan mempercepat kerusakan peralatan industri.

Sedimentasi menjadi salah satu proses yang banyak digunakan untuk memisahkan padatan tersuspensi dari air berdasarkan gaya gravitasi. Namun, partikel CaCO_3 berukuran halus dapat memiliki kestabilan suspensi yang cukup tinggi sehingga sulit mengendap secara alami. Oleh karena itu, proses koagulasi dan flokulasi sering digunakan sebagai praperlakuan agar partikel terdestabilisasi, bergabung membentuk flok, dan lebih mudah mengendap [3].

Koagulan berbasis aluminium, seperti tawas dan Poly Aluminium Chloride (PAC), banyak digunakan dalam pengolahan air. Tawas relatif ekonomis dan mudah diperoleh, sedangkan PAC memiliki spesies aluminium terpolimerisasi yang mampu membentuk flok lebih cepat dan stabil pada rentang pH yang lebih luas [4], [5]. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan kadar CaCO_3 sebelum dan sesudah sedimentasi menggunakan tawas dan PAC pada dosis 40 g dan 60 g, serta membandingkan efektivitasnya berdasarkan efisiensi penyisihan.

Teori

Sedimentasi adalah proses pemisahan partikel padat dari fase cair akibat perbedaan massa jenis antara partikel dan fluida. Partikel dengan massa jenis lebih besar akan bergerak ke dasar bak dan membentuk endapan. Keberhasilan sedimentasi dipengaruhi oleh ukuran partikel, massa jenis, viskositas fluida, karakteristik aliran, dan waktu tinggal. Secara teoritis, kecepatan pengendapan partikel meningkat ketika ukuran partikel atau flok semakin besar, sehingga pembentukan flok melalui koagulasi-flokulasi menjadi penting dalam proses pengolahan air.

Koagulasi merupakan proses destabilisasi partikel koloid melalui penambahan koagulan. Ion atau spesies bermuatan positif dari koagulan akan menetralkan muatan negatif pada permukaan partikel sehingga gaya tolak elektrostatis menurun. Setelah itu, flokulasi dilakukan dengan pengadukan lambat agar partikel yang telah terdestabilisasi saling bertumbukan dan membentuk flok yang lebih besar. Mekanisme utama koagulasi meliputi charge neutralization, sweep flocculation, dan polymer bridging [3], [6].

Tawas atau aluminium sulfat bekerja melalui hidrolisis ion aluminium yang menghasilkan spesies aluminium aktif dan endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$. Endapan ini dapat menjebak partikel tersuspensi selama proses sweep flocculation. PAC berbeda karena merupakan koagulan pre-hydrolyzed yang telah mengandung spesies aluminium polimer, sehingga proses netralisasi muatan dan pembentukan flok dapat berlangsung lebih cepat [4], [5].

CaCO_3 merupakan senyawa anorganik yang berkontribusi terhadap kesadahan dan pembentukan kerak. Dalam suspensi, partikel CaCO_3 yang halus dapat sulit mengendap karena kestabilan koloid. Penambahan koagulan bertujuan memperbesar ukuran flok sehingga kecepatan pengendapan meningkat dan kadar CaCO_3 dalam supernatan berkurang.

Efisiensi penyisihan digunakan untuk mengevaluasi keberhasilan proses [7]. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Efisiensi penyisihan (\%)} = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100\%$$

dengan C_0 adalah kadar awal CaCO_3 (ppm) dan C_t adalah kadar akhir setelah proses sedimentasi (ppm). Semakin tinggi nilai efisiensi, semakin baik kemampuan proses dalam menurunkan kadar CaCO_3 .

Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimen laboratorium untuk membandingkan efektivitas koagulan tawas dan Poly Aluminium Chloride (PAC) dalam menurunkan kadar kalsium karbonat (CaCO_3) melalui proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Variabel bebas yang digunakan adalah jenis koagulan dan dosis koagulan, sedangkan parameter yang diamati adalah kadar CaCO_3 sebelum dan sesudah perlakuan serta efisiensi penyisihan CaCO_3 .



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Peralatan yang digunakan meliputi neraca analitik, gelas beker, gelas ukur, labu ukur, erlenmeyer, buret, pipet volumetrik, pipet tetes, batang pengaduk, stopwatch, serta alat pengaduk berupa jar test atau magnetic stirrer. Bahan yang digunakan terdiri atas suspensi CaCO_3 , tawas, Poly Aluminium Chloride (PAC), larutan EDTA, indikator Eriochrome Black T (EBT), larutan buffer, NaOH, akuades, dan bahan pendukung lainnya.

Rancangan perlakuan dilakukan dengan membandingkan dua jenis koagulan, yaitu tawas dan PAC, pada dua variasi dosis. Perlakuan P1 menggunakan tawas dengan dosis 40 g, P2 menggunakan tawas dengan dosis 60 g, P3 menggunakan PAC dengan dosis 40 g, dan P4 menggunakan PAC dengan dosis 60 g. Setiap perlakuan dianalisis berdasarkan perubahan kadar CaCO_3 sebelum dan sesudah proses sedimentasi.

Tabel 1. Rancangan perlakuan koagulan

Perlakuan	Jenis koagulan	Dosis
P1	Tawas	40 g
P2	Tawas	60 g
P3	PAC	40 g
P4	PAC	60 g

Prosedur penelitian diawali dengan analisis kadar CaCO_3 awal menggunakan metode titrasi kompleksometri EDTA. Setelah kadar awal diketahui, sampel diberi koagulan sesuai rancangan perlakuan. Sampel kemudian diaduk cepat untuk tahap koagulasi, dilanjutkan dengan pengadukan lambat untuk tahap flokulasi, kemudian didiamkan agar terjadi proses sedimentasi. Setelah proses sedimentasi selesai, bagian supernatan dipisahkan dari endapan dan dianalisis kembali kadar CaCO_3 .

Tabel 2. Kadar CaCO_3 Dan Efisiensi Penyisihan Pada Setiap Perlakuan

Perlakuan	Koagulan	Dosis	Inlet (ppm)	Outlet (ppm)	Efisiensi (%)
P1	Tawas	40 g	600,54	450,41	25,00
P2	Tawas	60 g	600,54	400,36	33,33
P3	PAC	40 g	600,54	400,36	33,33
P4	PAC	60 g	800,72	450,405	43,75

Berdasarkan Tabel 2, seluruh perlakuan menunjukkan penurunan kadar CaCO_3 setelah proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Hal

nya menggunakan metode titrasi kompleksometri EDTA yang sama.

Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini adalah kadar kalsium karbonat (CaCO_3) sebelum dan sesudah proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Kadar awal CaCO_3 dianalisis sebelum penambahan koagulan, sedangkan kadar akhir CaCO_3 dianalisis pada supernatan setelah proses sedimentasi. Analisis kadar CaCO_3 dilakukan menggunakan metode titrasi kompleksometri EDTA dan dinyatakan dalam satuan ppm [7]. Data hasil pengukuran kemudian digunakan untuk menghitung efisiensi penyisihan CaCO_3 berdasarkan perbandingan antara kadar awal dan kadar akhir setelah perlakuan.

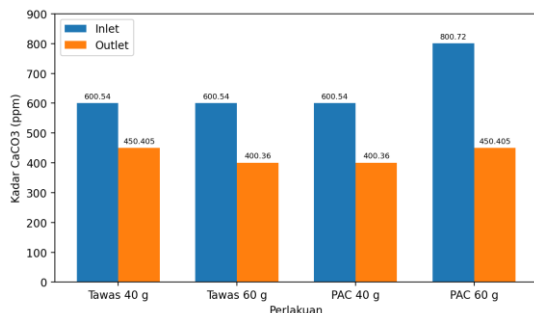
Hasil dan Pembahasan

Analisis hasil penelitian dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh jenis dan dosis koagulan terhadap penurunan kadar kalsium karbonat (CaCO_3) melalui proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Parameter utama yang diamati meliputi kadar CaCO_3 awal atau inlet, kadar CaCO_3 akhir atau outlet setelah sedimentasi, serta efisiensi penyisihan. Data inlet dan outlet digunakan untuk mengetahui perubahan kadar CaCO_3 pada setiap perlakuan, sedangkan efisiensi penyisihan digunakan sebagai dasar perbandingan kinerja antara koagulan tawas dan Poly Aluminium Chloride (PAC).

ini menunjukkan bahwa penambahan koagulan, baik tawas maupun PAC, mampu membantu penyisihan partikel CaCO_3 dari fase cair. Pada

perlakuan tawas, peningkatan dosis dari 40 g menjadi 60 g meningkatkan efisiensi penyisihan dari 25,00% menjadi 33,33%. Pada perlakuan PAC, peningkatan dosis dari 40 g menjadi 60 g juga meningkatkan efisiensi penyisihan dari 33,33% menjadi 43,75%.

Perbandingan antarjenis koagulan menunjukkan bahwa PAC memberikan kinerja lebih baik dibandingkan tawas pada dosis yang sama. Pada dosis 40 g, PAC menghasilkan efisiensi



33,33%, sedangkan tawas menghasilkan efisiensi 25,00%. Pada dosis 60 g, PAC menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 43,75%, sedangkan tawas menghasilkan efisiensi 33,33%. Dengan demikian, perlakuan PAC 60 g merupakan perlakuan paling efektif dalam menurunkan kadar CaCO_3 pada kondisi percobaan ini, sedangkan tawas 40 g menunjukkan efisiensi terendah.

Gambar 2. Grafik Perbandingan Kadar CaCO_3 Sebelum dan Sesudah Sedimentasi pada Setiap Perlakuan

Berdasarkan Gambar 2, seluruh perlakuan memperlihatkan pola yang sama, yaitu kadar CaCO_3 outlet lebih rendah dibandingkan kadar inlet. Pola tersebut memperkuat hasil pada Tabel 2 bahwa rangkaian proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi mampu menurunkan kadar CaCO_3 pada sampel. Meskipun demikian, perbandingan efektivitas koagulan tidak cukup hanya didasarkan pada kadar outlet, karena terdapat perbedaan kadar inlet pada perlakuan PAC 60 g. Oleh karena itu, efisiensi penyisihan menjadi parameter yang lebih tepat untuk membandingkan kinerja antarperlakuan. Berdasarkan nilai efisiensi, urutan kinerja perlakuan dari tertinggi ke terendah adalah PAC 60 g, PAC 40 g dan tawas 60 g, kemudian tawas 40 g.

Secara mekanistik, penurunan kadar CaCO_3 terjadi karena penambahan koagulan membantu destabilisasi partikel halus yang tersuspensi dalam air. Pada kondisi awal, partikel CaCO_3 dapat berada dalam bentuk suspensi halus yang relatif

stabil sehingga sulit mengendap secara alami. Penambahan koagulan menyebabkan muatan permukaan partikel berkurang atau netralkan, sehingga gaya tolak-menolak antarpartikel menjadi lebih lemah. Kondisi ini meningkatkan peluang tumbukan antarpartikel dan mendorong terbentuknya mikroflok [3], [6].

Tahap flokulasi melalui pengadukan lambat kemudian membantu mikroflok bergabung menjadi flok yang lebih besar dan lebih padat. Flok dengan ukuran dan massa yang lebih besar memiliki kemampuan mengendap yang lebih baik dibandingkan partikel tunggal. Dengan demikian, kadar CaCO_3 pada fase cair atau supernatan mengalami penurunan setelah proses sedimentasi. Mekanisme ini menunjukkan bahwa keberhasilan sedimentasi tidak hanya ditentukan oleh waktu pengendapan, tetapi juga oleh efektivitas tahap koagulasi dan flokulasi dalam membentuk flok yang stabil [3], [7].

Perbedaan efektivitas antara tawas dan PAC dapat dijelaskan dari karakteristik masing-masing koagulan. Tawas bekerja melalui proses hidrolisis ion aluminium untuk menghasilkan spesies aktif yang dapat menetralkan muatan partikel dan membentuk endapan aluminium hidroksida. Endapan tersebut membantu menjebak partikel tersuspensi melalui mekanisme *sweep flocculation*. Akan tetapi, pembentukan spesies aktif pada tawas sangat dipengaruhi oleh kondisi pH dan alkalinitas air, sehingga efektivitasnya dapat berubah sesuai kondisi sampel [4], [6].

PAC memiliki karakteristik berbeda karena merupakan koagulan *pre-hydrolyzed*. PAC telah mengandung spesies aluminium terhidrolisis dan polimer aluminium yang lebih siap bereaksi dalam proses koagulasi. Spesies tersebut dapat bekerja lebih cepat dalam menetralkan muatan partikel dan membentuk flok yang lebih padat. Hal ini menyebabkan PAC cenderung menghasilkan penyisihan CaCO_3 yang lebih tinggi dibandingkan tawas pada dosis yang sama. Hasil penelitian ini terlihat pada dosis 40 g, ketika PAC menghasilkan efisiensi 33,33%, sedangkan tawas menghasilkan efisiensi 25,00%; serta pada dosis 60 g, ketika PAC menghasilkan efisiensi 43,75%, sedangkan tawas menghasilkan efisiensi 33,33% [5], [7].

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis dan dosis koagulan berpengaruh terhadap penurunan kadar CaCO_3 melalui proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Peningkatan dosis koagulan dari 40 g menjadi 60 g meningkatkan efisiensi penyisihan, baik pada tawas maupun PAC. PAC menunjukkan

performa lebih baik dibandingkan tawas karena mampu menghasilkan flok yang lebih efektif untuk mengendap. Dengan demikian, PAC 60 g merupakan perlakuan terbaik pada kondisi percobaan ini.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi mampu menurunkan kadar kalsium karbonat (CaCO_3) pada seluruh perlakuan. Penurunan kadar CaCO_3 menunjukkan bahwa penambahan koagulan tawas maupun Poly Aluminium Chloride (PAC) dapat membantu proses destabilisasi partikel, pembentukan flok, dan pengendapan partikel CaCO_3 dari fase cair.

Jenis dan dosis koagulan berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan CaCO_3 . Pada penggunaan tawas, peningkatan dosis dari 40 g menjadi 60 g meningkatkan efisiensi penyisihan dari 25,00% menjadi 33,33%. Pada penggunaan PAC, peningkatan dosis dari 40 g menjadi 60 g juga meningkatkan efisiensi penyisihan dari 33,33% menjadi 43,75%. Perlakuan PAC 60 g menghasilkan efisiensi penyisihan tertinggi, sedangkan tawas 40 g menghasilkan efisiensi terendah.

Secara keseluruhan, PAC menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan tawas pada kondisi percobaan ini. Hal tersebut berkaitan dengan karakteristik PAC sebagai koagulan pre-hydrolyzed yang lebih aktif dalam menetralkan muatan partikel dan membentuk flok yang lebih padat serta stabil. Evaluasi efektivitas koagulan lebih tepat dilakukan berdasarkan efisiensi penyisihan, bukan hanya berdasarkan kadar outlet, karena terdapat perbedaan kadar CaCO_3 awal pada salah satu perlakuan. Dengan demikian, pemilihan jenis koagulan dan penentuan dosis optimum menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas sedimentasi untuk menurunkan kadar CaCO_3 dalam air.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, atas fasilitas dan bantuan yang diberikan selama praktikum sedimentasi berlangsung. Penulis juga memberikan apresiasi kepada dosen pengampu, asisten laboratorium, dan semua pihak yang telah

mendukung proses pengambilan data, analisis, serta penyusunan artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] World Health Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, 4th ed., incorporating the 1st and 2nd addenda. Geneva: World Health Organization, 2022.
- [2] N. Boluda-Botella, M. D. Saquete, S. Martínez-Moya, C. A. Morales-Paredes, and J. M. Rodríguez-Díaz, "Analysis of calcium carbonate scales in water distribution systems and influence of the electromagnetic treatment," *Water*, vol. 16, no. 11, p. 1554, 2024.
- [3] H. N. P. Dayarathne, M. J. Angove, R. Aryal, H. Abuel-Naga, and B. Mainali, "Removal of natural organic matter from source water: Review on coagulants, dual coagulation, alternative coagulants, and mechanisms," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 40, p. 101820, 2021.
- [4] N. K. Zaman, R. Rohani, I. I. Yusoff, M. A. Kamsol, S. A. Basiron, and A. I. A. Rashid, "Eco-friendly coagulant versus industrially used coagulants: Identification of their coagulation performance, mechanism and optimization in water treatment process," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 17, p. 9164, 2021.
- [5] A. Benalia, K. Derbal, and A. Panico, "Coagulation treatment of wastewater: Kinetics and natural coagulant evaluation," *Molecules*, vol. 26, no. 3, p. 698, 2021.
- [6] K. Nti, E. K. Antwi, and S. Y. Mensah, "Polyaluminium chloride dosing effects on coagulation performance: Case study of a water treatment plant," *Water Practice and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 1215-1225, 2021.
- [7] American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th ed. Washington, DC: APHA, 2023.