

Optimalisasi Koagulan untuk Penurunan Kadar Fe dan Cu pada Air Sumur Bor Fakultas Teknik Universitas Mulawarman

Eko Heryadi^{*1)}, Muzammil Asriani¹⁾, Anita Nur Arfyani¹⁾, Rif'an Fathoni¹⁾, Khairunnisa

¹⁾ Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

E-mail: e.heryadi@ft.unmul.ac.id

ABSTRAK

Air merupakan kebutuhan vital bagi kehidupan, namun kualitas air sumur bor seringkali tidak memenuhi standar baku mutu karena kandungan logam berat seperti besi (Fe) dan tembaga (Cu) yang tinggi. Paparan jangka panjang terhadap logam ini dapat menimbulkan dampak kesehatan serius, termasuk gangguan ginjal, hati, serta potensi karsinogenik. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan koagulan, khususnya tawas dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC), dalam menurunkan kadar Fe dan Cu pada air sumur bor Fakultas Teknik Universitas Mulawarman. Metode yang digunakan adalah uji *jar test* dengan variasi dosis koagulan (0,5–2,5 mL), waktu kontak (1–5 menit), dan kecepatan pengadukan (50–250 rpm). Parameter yang diamati meliputi pH, *Total Suspended Solid* (TSS), serta konsentrasi Fe dan Cu menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan dosis koagulan berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar Fe dan Cu, dengan dosis optimum sebesar 2,5 mL untuk kedua jenis koagulan. PAC terbukti lebih efektif dibandingkan tawas dalam menurunkan kadar logam karena sifat polimerisasi tinggi dan gugus aktif aluminat yang mempercepat pembentukan *flok* padat. Waktu pengadukan 3–5 menit dan kecepatan 100–200 rpm merupakan kondisi optimal untuk menghasilkan *flok* yang stabil tanpa pecah. Nilai pH relatif stabil pada penggunaan PAC, sedangkan tawas cenderung menurunkan pH. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa koagulasi menggunakan PAC lebih unggul dibandingkan tawas dalam meningkatkan kualitas air sumur bor agar mendekati standar air bersih. Temuan ini dapat dijadikan acuan dalam pengelolaan air bersih dengan metode sederhana dan ekonomis.

Kata Kunci: Cu, Fe, *jar test*, koagulasi, kualitas air, PAC, tawas

ABSTRACT

Water is an essential resource for life; however, the quality of groundwater from bore wells often fails to meet quality standards due to high concentrations of heavy metals such as iron (Fe) and copper (Cu). Long-term exposure to these metals can cause serious health impacts, including kidney and liver disorders as well as carcinogenic risks. This study aims to optimize the use of coagulants, specifically alum and poly aluminum chloride (PAC), to reduce Fe and Cu levels in bore well water at the Faculty of Engineering, Mulawarman University. The *jar test* method was applied by varying coagulant dosage (0,5–2,5 mL), contact time (1–5 minutes), and stirring speed (50–250 rpm). Parameters measured included pH, Total Suspended Solids (TSS), and Fe and Cu concentrations using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results indicate that increasing coagulant dosage significantly reduced Fe and Cu concentrations, with an optimum dosage of 50 mg/L for both coagulants. PAC was found to be more effective than alum in reducing metal content due to its high polymerization degree and active aluminates that enhance dense floc formation. Optimal conditions were achieved at a stirring time of 3–5 minutes and speed of 100–200 rpm, which produced stable flocs without breaking. pH values remained relatively stable when using PAC, whereas alum tended to lower pH levels. Overall, the study demonstrates that PAC is superior to alum in improving bore well water quality to meet clean water standards. These findings provide a practical reference for community-scale water treatment using simple and cost-effective methods.

Keywords: Alum, coagulation, Cu, Fe, *jar test*, PAC, water quality

1. Pendahuluan

Air merupakan komponen terbesar dalam tubuh makhluk hidup dengan kandungan 60–90% dari massa total. Fungsinya tidak hanya sebagai media transportasi zat gizi, oksigen, dan sisa metabolisme, tetapi juga menjaga keseimbangan suhu tubuh melalui penguapan. Dari sisi ekologis, air berperan penting dalam menjaga keberlangsungan ekosistem akuatik dan daratan. Air juga menjadi bagian utama siklus hidrologi global melalui proses evaporasi, kondensasi, dan presipitasi yang menentukan pola curah hujan, aliran sungai, serta ketersediaan air tawar. Faktor-faktor tersebut membuat air menjadi sumber daya vital yang harus dikelola secara berkelanjutan (Imamudin, 2001).

Air sumur bor memiliki karakteristik yang berbeda dengan air permukaan karena berasal dari akuifer dalam tanah. Proses filtrasi alami menyebabkan air sumur bor memiliki kekeruhan lebih rendah serta kandungan mineral yang lebih stabil, terutama kalsium dan magnesium. Suhu air sumur bor juga relatif konstan sepanjang tahun karena dipengaruhi kondisi tanah pada kedalaman tertentu. Meski demikian, kualitas air sumur bor tetap berpotensi menurun akibat konstruksi sumur yang kurang memadai maupun intrusi air laut di daerah pesisir. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan rutin agar air sumur tetap layak digunakan (Simpun dkk., 2021).

Pengaturan kualitas air untuk irigasi dan keperluan industri di Indonesia diatur melalui PP Nomor 22 Tahun 2021, dengan menetapkan baku mutu air permukaan berdasarkan kelas penggunaannya. Air untuk irigasi pertanian termasuk dalam kelas III, bersama pemanfaatan untuk perikanan dan peternakan, sedangkan air untuk keperluan industri termasuk kelas IV yang diperuntukkan bagi usaha perkotaan, industri, dan pembangkit listrik. Parameter mutu yang diatur meliputi aspek fisika, kimia, dan biologi, seperti pH, kekeruhan, BOD, COD, serta kandungan logam berat (Fe, Mn, Cu, Pb). Penetapan baku mutu ini berfungsi sebagai acuan dalam pemantauan kualitas air, pengendalian pencemaran, serta perlindungan lingkungan agar kegiatan pertanian maupun industri dapat berjalan berkelanjutan tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem dan kesehatan masyarakat.

Koagulasi merupakan salah satu metode pengolahan air yang umum digunakan untuk menurunkan kekeruhan dan kandungan logam. Proses ini bekerja dengan menambahkan koagulan yang mampu menetralkan partikel koloid sehingga membentuk *flok* besar dan mudah mengendap. Efektivitas koagulasi dipengaruhi oleh faktor pH, suhu air, dosis koagulan, kecepatan pengadukan, serta tingkat kekeruhan air baku (Permatasari & Apriliani, 2019). Menurut Rahimah dkk. (2018), keberhasilan koagulasi juga dipengaruhi oleh jenis koagulan, kandungan ion terlarut, dan tingkat alkalinitas. Dosis yang tepat akan menghasilkan *flok* optimal, sedangkan kelebihan atau kekurangan dosis justru menurunkan efektivitas. Selain itu, kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *flok* pecah, sementara pengadukan yang terlalu lambat membuat pencampuran tidak merata.

Tawas atau aluminium sulfat merupakan koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan air karena harganya murah dan mudah diperoleh. Pada kondisi optimal, ion Al^{3+} dalam tawas akan terhidrolisis membentuk $Al(OH)_3$ yang berfungsi sebagai adsorben partikel koloid bermuatan negatif. Koagulasi dengan tawas paling efektif dilakukan pada pH 5–7 (Ravina, 1993). Menurut Duan, (2002) menambahkan bahwa tawas masih dapat bekerja pada pH 5–8. Dalam kondisi basa dan dosis berlebih, tawas dapat membentuk senyawa kompleks aluminium seperti $Al_6(OH)_{15}^{3+}$, $Al_7(OH)_{17}^{4+}$, dan $Al_8(OH)_{20}^{4+}$ yang larut dalam air. Senyawa kompleks ini meningkatkan kemampuan penyerapan partikel tersuspensi, sehingga tetap mendukung proses koagulasi.

Menurut Suherman & Sumawijaya (2013), penggunaan tawas dalam suasana basa lebih menguntungkan karena terbentuk endapan $Al(OH)_3$ yang lebih stabil. Endapan ini berfungsi efektif untuk mengikat partikel koloid dan mempercepat proses pengendapan, sehingga hasil koagulasi lebih maksimal.

Poly Aluminium Chloride (PAC) merupakan koagulan anorganik kompleks yang memiliki banyak keunggulan dibandingkan tawas. PAC mampu bekerja pada rentang pH yang lebih luas tanpa memerlukan penyesuaian pH, lebih cepat membentuk *flok* padat, dan tidak menimbulkan kekeruhan meski dosis berlebih. Selain itu, PAC mengandung polielektrolit yang memperkuat ikatan dengan partikel koloid, sehingga *flok* yang dihasilkan lebih padat dan stabil. PAC juga lebih hemat penggunaan bahan tambahan karena tidak menyebabkan penurunan pH yang signifikan, sehingga lebih efisien dan efektif dalam menurunkan kandungan Fe dan Cu pada air (Rahimah dkk., 2018).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas koagulan tawas dan PAC dalam menurunkan kadar Fe dan Cu pada air sumur bor di Fakultas Teknik Universitas Mulawarman. Penelitian ini juga diarahkan untuk mengetahui dosis, waktu kontak, serta kecepatan

pengadukan yang optimum sehingga proses penjernihan air dapat berlangsung lebih efisien. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pengolahan air bersih yang sederhana dan aplikatif, sekaligus memberikan rekomendasi penggunaan koagulan yang tepat dalam upaya peningkatan kualitas air sumur bor.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental dengan pendekatan laboratorium. Pemilihan metode ini didasarkan pada tujuan penelitian, yaitu menganalisis efektivitas koagulan tawas dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dalam menurunkan kadar logam besi (Fe) dan tembaga (Cu) pada air sumur bor. Metode kuantitatif digunakan untuk memperoleh data numerik yang terukur melalui serangkaian percobaan, sedangkan uji *jar test* dipilih karena mampu memberikan gambaran praktis terhadap kinerja koagulan pada kondisi tertentu. Data hasil percobaan kemudian dianalisis menggunakan metode perbandingan efektivitas antar koagulan.

A. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi koagulan tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), *Poly Aluminium Chloride* (PAC), kertas pH, kertas saring, serta akuades. Sampel penelitian adalah air sumur bor yang diambil dari lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman

B. Alat

Peralatan utama yang digunakan terdiri atas *jar test*, *stirrer*, neraca analitik, gelas kimia, labu ukur, oven, serta spektrofotometer serapan atom (AAS) yang digunakan untuk menganalisis kandungan logam Fe dan Cu.

C. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian diawali dengan pembuatan larutan koagulan dengan melarutkan 10 gram tawas atau PAC ke dalam 1000 mL akuades. Selanjutnya dilakukan percobaan *jar test* dengan beberapa variasi yaitu variasi dosis koagulan: 0,5, 1, 1,5, 2, dan 2,5 g/L, variasi waktu kontak: 1, 2, 3, 4, dan 5 menit, dan variasi kecepatan pengadukan: 50, 100, dan 200 rpm.

Sampel air sumur sebanyak 500 mL dimasukkan ke dalam gelas kimia, ditambahkan larutan koagulan sesuai variasi, kemudian diaduk dengan *jar test*. Setelah proses pengadukan, sampel diendapkan hingga *flok* terbentuk dan dipisahkan dari cairan jernih.

D. Analisis Data

Parameter yang dianalisis meliputi pH air, *Total Suspended Solid* (TSS), serta konsentrasi logam Fe dan Cu. Pengukuran pH dilakukan menggunakan kertas indikator, TSS diperoleh melalui metode gravimetri dengan menimbang residu kering, sedangkan konsentrasi Fe dan Cu dianalisis menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS). Hasil pengujian dibandingkan untuk menentukan efektivitas koagulan dalam menurunkan kadar logam.

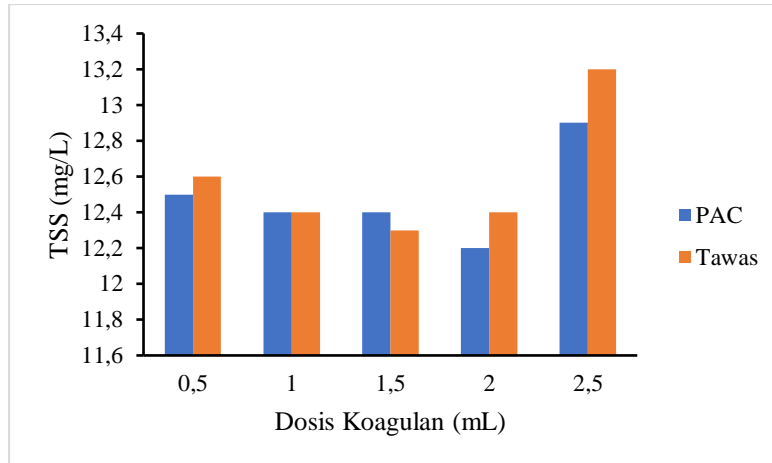
3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk menurunkan kadar logam Fe dan Cu pada air sumur bor dengan metode koagulasi menggunakan koagulan tawas dan PAC. Air hasil perlakuan diuji menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS) untuk mengetahui kandungan logam yang tersisa, serta dianalisis parameter pH dan TSS guna mengevaluasi efektivitas proses. Efektivitas koagulasi kemudian ditentukan melalui perhitungan pengaruh variasi dosis, waktu kontak, dan kecepatan pengadukan terhadap kualitas air. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui kondisi optimum proses koagulasi sehingga mampu mengurangi kadar logam Fe dan Cu sesuai baku mutu air bersih. Data hasil pengamatan terhadap kualitas air sumur bor Fakultas Teknik Universitas Mulawarman dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Data Hasil Pengamatan Air Sumur sebelum Koagulasi

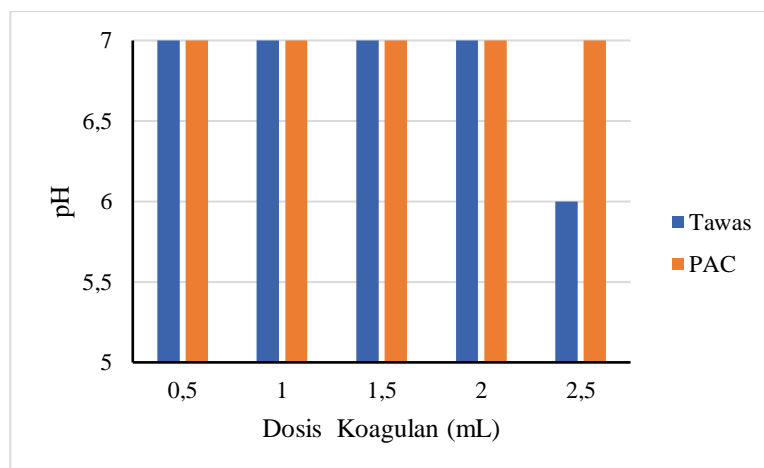
pH	TSS (mg/L)	Kadar Cu (m.e/L)	Kadar Fe (m.e/L)
8	264	0,1070	1,3740

A. Pengaruh Dosis Koagulan terhadap Kandungan Air Sumur



Gambar 1. Diagram Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap Kadar TSS Air Sumur

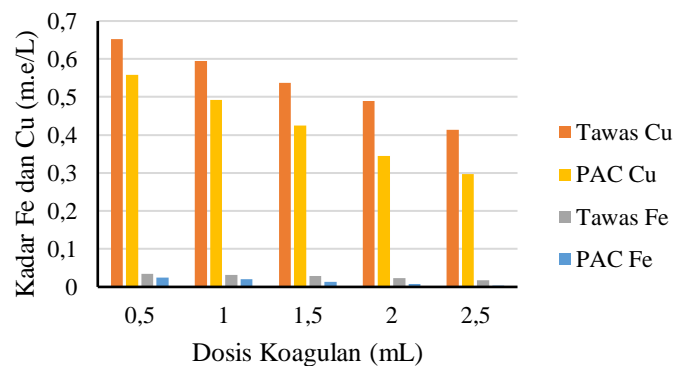
Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa setiap penambahan dosis koagulan terjadi penurunan terhadap kadar TSS pada air sampel, namun pada saat penambahan koagulan PAC sebanyak 2,5 mL terjadi kenaikan yaitu 12,9 mg/L, dan pada penambahan koagulan Tawas sebanyak 2 mL dan 2,5 mL terjadi kenaikan yaitu 12,4 mg/L dan 13,2 mg/L. Hal ini disebabkan oleh berlebihnya kadar koagulan yang mengakibatkan terjadi proses absorpsi kation yang berlebih oleh partikel koloid dalam air sehingga menyebabkan deflokulasi atau restabilisasi kembali (Budiman dkk., 2017). Berdasarkan hasil penelitian tersebut juga dapat diketahui bahwa koagulan PAC lebih efektif dalam menurunkan kandungan TSS daripada koagulan tawas walaupun tidak signifikan, dengan nilai TSS paling rendah yaitu 12,2 mg/L pada dosis PAC 2 mL. Sedangkan koagulan tawas memperoleh nilai TSS paling rendah yaitu 12,3 mg/L pada dosis tawas 1,5 mL. Berdasarkan teori (Mursitaningrum dkk., 2024) hal ini dikarenakan PAC memiliki gugus aktif aluminat yang bekerja efektif dalam mengikat koloid yang mana ikatan ini diperkuat dengan rantai polimer dari gugus polielektrolite sehingga mudah bereaksi dan lebih efektif dalam membentuk gumpalan atau *flok*.



Gambar 2. Diagram Pengaruh Koagulan Terhadap pH Air Sumur

Gambar 2 menunjukkan bahwa setiap penambahan dosis koagulan tawas tidak mengalami perubahan yang signifikan terhadap pH, dapat dilihat dari dosis koagulan tawas 0,5 mL, 1 mL, 1,5 mL, dan 2 mL terlihat pH yang didapatkan yaitu 7. Perubahan yang terlihat pada saat ditambahkan dosis koagulan tawas 2,5 mL yang membuat pH dari air menjadi 6. Data yang diperoleh sesuai dengan teori Tandiarrang dkk., (2016) semakin banyak penambahan dosis koagulan tawas maka pH air akan semakin rendah. Penurunan pH tersebut disebabkan karena saat tawas dilarutkan di dalam air akan menghasilkan senyawa H_2SO_4 yang bersifat asam dan akan menurunkan pH air. Penambahan dosis

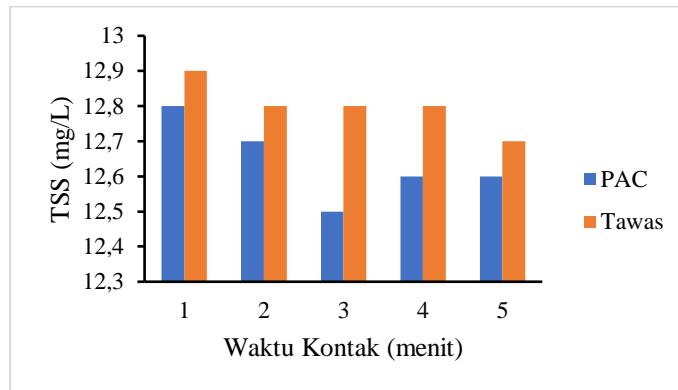
koagulan PAC terlihat tidak mengalami perubahan pada dosis koagulan PAC 0,5 mL, 1 mL, 1,5 mL, 2 mL, dan 2,5 mL menurut Mulya, (2015) kandungan basa yang cukup pada PAC menambah gugus hidroksil dalam air sehingga penurunan pH tidak terlalu ekstrim. Penurunan pH yang lebih efisien dari koagulan tawas dan koagulan PAC yang didapat dari percobaan ini adalah penggunaan koagulan PAC karena penurunan pH yang dibutuhkan tidak signifikan. Penggunaan koagulan tawas akan lebih efisien digunakan untuk menurunkan pH air yang signifikan karena jika digunakan dengan dosis yang tinggi menyebabkan pH yang terlalu rendah dan tidak memenuhi standar baku mutu air.



Gambar 3. Diagram Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap Kadar Fe dan Cu pada Air Sumur

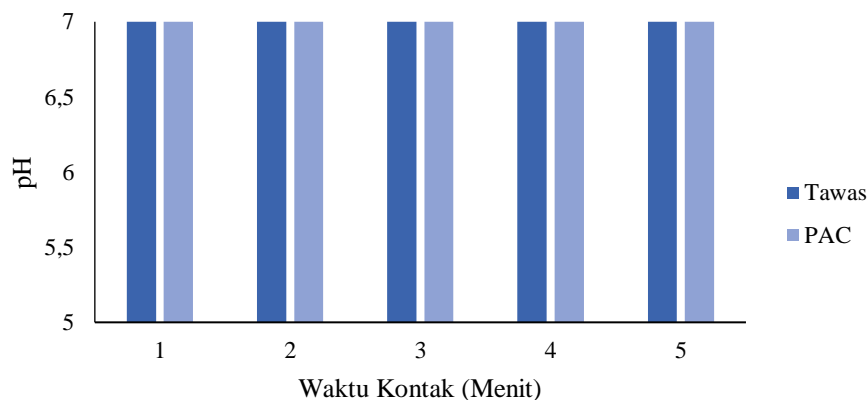
Gambar 3 menunjukkan pengaruh dosis koagulan tawas dan PAC terhadap air sumur dengan mengukur kadar Fe (Besi) dan kadar Cu (Tembaga) yang tersisa setelah diberikan koagulan tawas dan koagulan PAC dengan dosis 0,5 mL, 1 mL, 1,5 mL, 2 mL, dan 2,5 mL. Dosis koagulan yang semakin meningkat terlihat berpengaruh pada kadar Cu dan Fe pada air sumur. Semakin tinggi dosis yang diberikan maka kadar Fe dan Cu pada air sumur juga menurun sesuai dengan teori (Widiawati dkk., 2024) banyaknya koagulan yang digunakan adalah salah satu faktor yang berpengaruh dalam proses koagulasi sehingga dapat mempermudah pembentukan *flok-flok* saat ditingkatkan dosis penggunaannya seperti gambar di atas pada air sumur mengalami penurunan kadar Fe dan Cu saat ditambahkan dosis koagulan. Koagulan yang efisien jika dilihat dari tabel di atas yaitu koagulan PAC lebih unggul dalam mengurangi kadar Fe dan Cu pada air sumur. Berdasarkan teori (Kartini dkk., 2019) hal ini dikarenakan kedua koagulan tersebut mengandung ion Al^{3+} yang dapat menetralkan ion Fe^{2+} dan reaksi tersebut menghasilkan ferri hidroksida yang berupa gumpalan atau *flok*, selanjutnya *flok* yang terbentuk akan mengikat limbah tembaga. *Flok* yang telah mengikat Cu^{2+} tersebut akan menggumpal dan dapat mengendap sehingga mengurangi kadar Fe dan Cu dalam air sumur. Namun PAC memiliki kandungan polimerisasi tinggi yang tidak dimiliki oleh koagulan tawas sehingga lebih cepat bereaksi dengan ion-ion Fe dan Cu. Menurut (Widiawati dkk., 2024) banyaknya koagulan yang digunakan adalah salah satu faktor yang berpengaruh dalam proses koagulasi sehingga dapat mempermudah pembentukan *flok-flok* saat ditingkatkan dosis penggunaannya seperti gambar di atas pada air sumur mengalami penurunan kadar Fe dan Cu saat ditambahkan dosis koagulan.

B. Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap Kandungan Air Sumur



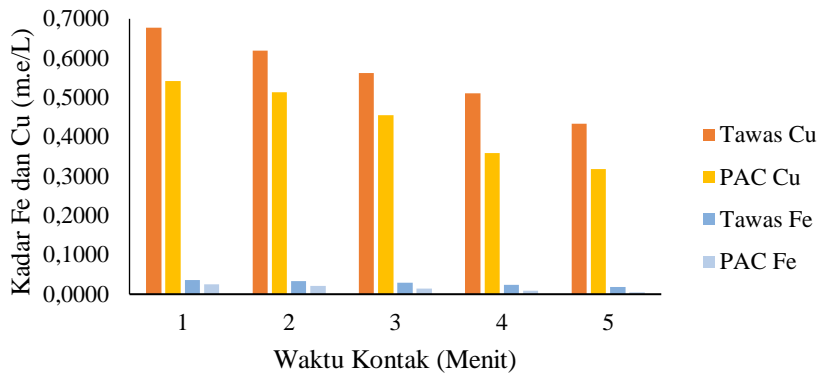
Gambar 4. Diagram Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Kadar TSS Air Sumur

Berdasarkan Gambar 4 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu pengadukan koagulan dengan air sampel maka terjadi penurunan terhadap kadar TSS. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Fadila dkk., (2024) yang menyatakan bahwa semakin lama waktu pengadukan maka pencampuran semakin sempurna sehingga menghasilkan *flok* yang lebih banyak dan dapat menurunkan kadar TSS pada air sampel, namun jika terlalu lama waktu pengadukan juga akan menyebabkan *redisperse* partikel atau pecahnya *flok* yang terbentuk sehingga kembali ke dalam larutan. Data yang telah di peroleh dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa koagulan PAC lebih efektif dalam menurunkan kandungan TSS daripada koagulan tawas, dengan nilai TSS paling rendah yaitu 12,5 mg/L dan optimal pada waktu pengadukan selama 3 menit sehingga menurunkan nilai TSS sebesar 95,21%. Sedangkan koagulan tawas memperoleh nilai TSS paling rendah yaitu 12,7 mg/L dan optimal pada waktu pengadukan selama 5 menit sehingga menurunkan nilai TSS sebesar 95,15%. Hal ini sesuai dengan teori (Yusuf dkk., 2023) yang menyatakan bahwa PAC memiliki sifat polimerisasi yang tinggi sehingga mudah bereaksi dengan partikel-partikel yang terdapat di dalam air dan tidak membutuhkan waktu pengadukan yang lama untuk proses pembentukan *flok* secara maksimal.



Gambar 5. Diagram Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap pH Air Sumur

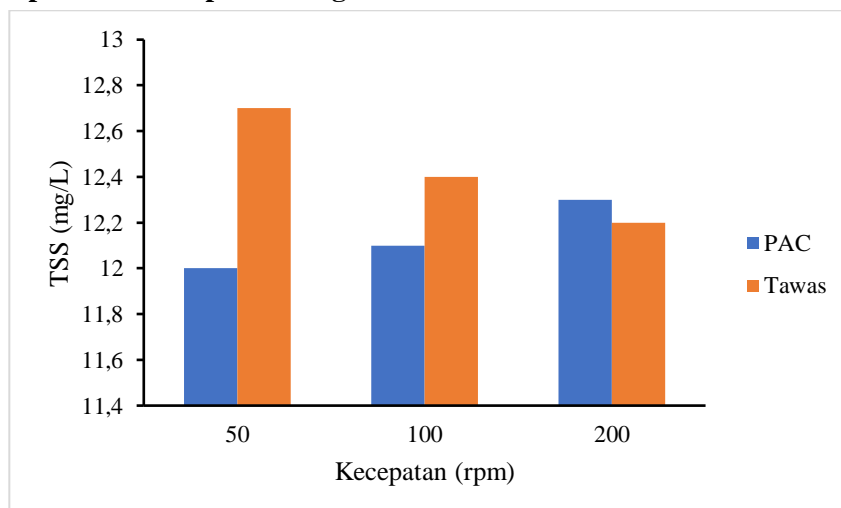
Gambar 5 menunjukkan bahwa pengaruh waktu pengadukan menggunakan koagulan tawas dan PAC tidak ada peningkatan atau penurunan pH setelah waktu pengadukan dilakukan lebih lama. Waktu pengadukan tidak memengaruhi pH karena pH ditentukan oleh reaksi kimia koagulan dengan air, seperti hidrolisis yang menghasilkan ion H^+ atau OH^- yang terjadi segera setelah koagulan ditambahkan. Pengadukan hanya membantu mencampur larutan dan membentuk *flok* secara fisik, tanpa mengubah reaksi kimia yang memengaruhi pH. Selain itu, jika air memiliki kapasitas penyangga yang baik, perubahan pH akibat koagulan akan diredam, sehingga pH tetap stabil selama pengadukan berlangsung, kecuali jika bahan kimia dengan sifat asam atau basa kuat ditambahkan selama proses tersebut. Hal ini terbukti juga pada penelitian (Budiman dkk., 2017) yang menyatakan bahwa waktu pengadukan tidak mempengaruhi nilai pH larutan, berapapun variasi waktu pengadukan yang digunakan pada setiap kadar koagulan yang ditambahkan tidak mengubah nilai pH larutan.



Gambar 6. Diagram Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Kadar Fe dan Cu Air Sumur

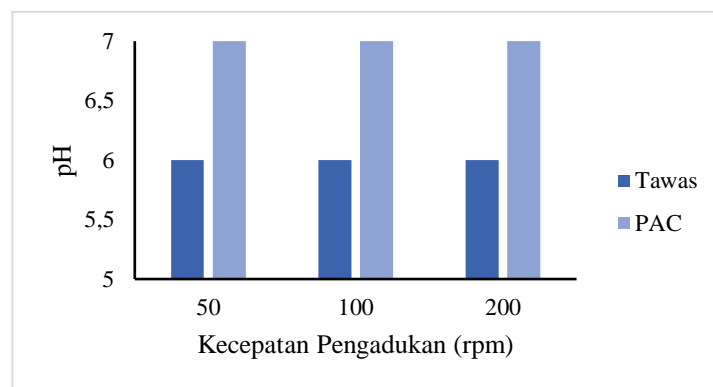
Gambar 6 menunjukkan pengaruh waktu kontak koagulan tawas dan PAC terhadap air sumur dengan mengukur kadar Fe (Besi) dan kadar Cu (Tembaga) yang tersisa setelah dikontakkan koagulan tawas dan koagulan PAC dengan waktu kontak 1 sampai dengan 5 menit. Penurunan kadar Fe dan Cu yang terkandung pada air sumur terlihat pada gambar di atas yaitu semakin menurun disaat waktu kontak semakin lama dilakukan. Pengaruh waktu kontak terhadap kadar Cu dan Fe dalam air sumur dapat dijelaskan melalui mekanisme interaksi antara koagulan dengan ion logam dalam proses koagulasi dan flokulasi. Pada percobaan yang dilakukan dengan waktu kontak 1 hingga 5 menit, terlihat bahwa semakin lama waktu kontak, semakin banyak ion Cu dan Fe yang dapat dihilangkan dari air. Penurunan kadar ini terjadi karena waktu kontak yang lebih panjang memberikan kesempatan yang lebih besar bagi ion logam untuk berinteraksi dengan *flok* yang terbentuk. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada waktu kontak awal (1 menit), penurunan kadar Cu dan Fe relatif kecil karena *flok* yang terbentuk belum sepenuhnya berkembang. Namun, pada waktu kontak yang lebih lama (3 hingga 5 menit), *flok* menjadi lebih besar dan efisien dalam menangkap ion logam, sehingga konsentrasi Cu dan Fe dalam air menurun secara signifikan. Sesuai dengan teori (Zega dkk., 2021) semakin lama waktu kontak menyebabkan penyerapan semakin tinggi sehingga semakin banyak Fe dan Cu yang terserap ditandai dengan menurunnya kadar Fe dan Cu yang tersisa. Kadar Fe dan Cu yang terkandung setelah dikontakkan dengan koagulan tawas dan koagulan PAC menunjukkan selisih yang cukup dekat, hanya saja koagulan PAC lebih efisien dalam mengurangi kadar Fe dan Cu pada air sumur. Hal ini disebabkan oleh sifat *flok* yang dihasilkan PAC lebih padat dan stabil, sehingga lebih efektif dalam menangkap ion logam. Sebaliknya, *flok* tawas yang lebih rapuh cenderung kurang efisien dalam menyerap dan mengendapkan ion logam. Dengan demikian, waktu kontak yang lebih lama sangat berpengaruh dalam meningkatkan efisiensi penghilangan Cu dan Fe dari air, dengan hasil terbaik dicapai menggunakan PAC sebagai koagulan.

C. Pengaruh Kecepatan terhadap Kandungan Air Sumur



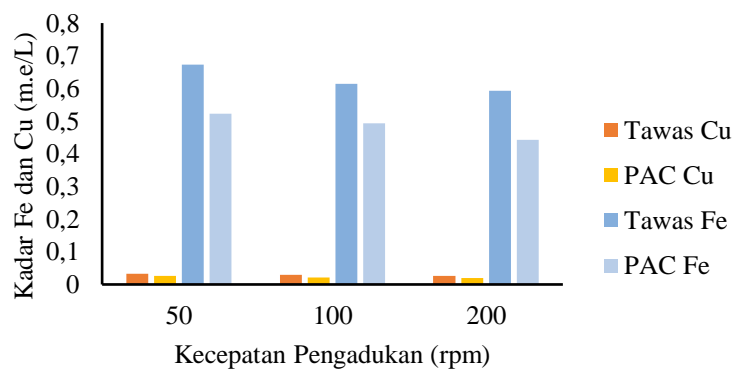
Gambar 7. Diagram Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar TSS Air Sumur

Berdasarkan Gambar 7 dapat diketahui bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi kandungan TSS pada air sumur. Data koagulan PAC menunjukkan bahwa semakin lambat kecepatan pengadukan maka kadar TSS semakin berkurang. Hal ini sesuai dengan teori (Yusuf dkk., 2023) yang menyatakan bahwa sifat PAC yang merupakan polimer sintetik kaya akan ion positif (Al^{3+}) dan ion negatif (Cl^{-}) dengan reaktivitas tinggi, sehingga pada kecepatan 50 rpm *flok* dapat terbentuk dengan sangat baik. Sebaliknya, apabila kecepatan semakin tinggi maka semakin besar kemungkinan mikro*flok* pecah sehingga kadar TSS meningkat. Data koagulan tawas menunjukkan semakin besar kecepatan pengadukan maka semakin berkurang kadar TSS pada air. Sesuai dengan teori (Rosariawari, 2020) yang menyatakan bahwa hal itu disebabkan oleh sifat tawas yang tidak sereaktif PAC sehingga pada pengadukan 50 rpm partikel-partikel padat tersuspensi dalam air belum terikat sempurna oleh tawas sehingga masih mengandung banyak TSS pada air, dan setelah kecepatan 200 rpm tawas akhirnya dapat mengikat partikel-partikel padat dalam air secara sempurna sehingga *flok* yang dihasilkan dapat maksimal.



Gambar 8. Diagram Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar pH Air Sumur

Gambar 8 menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan pengadukan menggunakan koagulan tawas dan PAC tidak berpengaruh pada pH air sumur yang dapat dilihat pada gambar di atas pH air sumur menggunakan koagulan tawas dan PAC tidak ada peningkatan atau penurunan pH setelah kecepatan pengadukan ditingkatkan. Kecepatan pengadukan tidak berpengaruh signifikan terhadap pH karena pengadukan hanya bertujuan untuk mencampur bahan kimia atau mempercepat interaksi antarpartikel dalam air, bukan mengubah komposisi kimia larutan secara langsung. pH adalah ukuran konsentrasi ion hidrogen H^{+} dalam larutan, yang ditentukan oleh sifat kimiawi larutan itu sendiri dan bahan kimia yang ditambahkan, seperti asam, basa, atau koagulan. Meskipun kecepatan pengadukan dapat memengaruhi proses koagulasi dan flokulasi yang meningkatkan pembentukan *flok* atau memperbaiki distribusi koagulan pengadukan tersebut tidak menghasilkan reaksi kimia baru yang dapat mengubah konsentrasi ion H^{+} atau OH^{-} dalam air. Oleh karena itu, pH tetap stabil selama pengadukan, kecuali jika bahan kimia dengan sifat asam atau basa kuat ditambahkan selama proses tersebut. Hasil yang didapatkan sesuai dengan teori Azizah dkk., (2021) waktu pengadukan dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh pada nilai pH dengan variasi berapapun waktu pengadukan dan kecepatan pengadukan yang digunakan pada setiap kadar koagulan yang ditambahkan tidak mempengaruhi nilai pH.



Gambar 9. Diagram Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Kadar Fe dan Cu Air Sumur

Gambar 9 menunjukkan pengaruh kecepatan pengadukan tawas dan PAC terhadap air sumur dengan mengukur kadar Fe (Besi) dan kadar Cu (Tembaga) yang tersisa setelah diberikan koagulan tawas dan koagulan PAC dengan kecepatan pengadukan 50 rpm, 100 rpm, dan 200 rpm. Penurunan kadar Fe dan Cu terjadi saat dilakukan perubahan kecepatan pengadukan. Pada 50 rpm, flokulasi berlangsung lambat, dan tumbukan antar partikel kurang efektif. Hal ini menyebabkan *flok* yang terbentuk berukuran kecil dan kurang mampu mengikat Fe dan Cu, sehingga efisiensi penurunan kadar logam rendah. Pada 100 rpm, tumbukan antar partikel meningkat, menghasilkan *flok* yang lebih besar dan lebih stabil. Efisiensi penurunan kadar Cu dan Fe meningkat. Pada 200 rpm, pengadukan cepat meningkatkan frekuensi tumbukan antar partikel, sehingga proses pembentukan *flok* lebih efektif. Namun, jika pengadukan terlalu agresif, beberapa *flok* yang sudah terbentuk dapat pecah dan menyebabkan sedikit penurunan efisiensi dibandingkan kecepatan optimal oleh karena itu tidak dilakukan dengan waktu yang lama agar hasil yang didapatkan efektif. Hal ini sesuai dengan teori Patricia dkk., (2024) kecepatan pengadukan mempengaruhi proses adsorpsi. Semakin cepat kecepatan pengadukan akan meningkatkan daya adsorpsi dan kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dapat merusak interaksi adsorbat pada proses adsorpsi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa koagulan PAC lebih efektif dibandingkan tawas dalam menurunkan kadar logam Fe dan Cu pada air sumur bor Fakultas Teknik Universitas Mulawarman. Efektivitas PAC ditunjukkan dengan terbentuknya *flok* yang lebih padat, stabil, dan cepat mengikat ion logam karena sifat polimerisasi dan kandungan aluminat aktif yang dimilikinya. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa PAC mampu menurunkan konsentrasi Fe dan Cu hingga mendekati baku mutu air bersih, dengan persen penurunan lebih tinggi dibandingkan penggunaan tawas pada kondisi yang sama. Hal ini membuktikan bahwa PAC memiliki kinerja lebih unggul sebagai koagulan dalam proses penjernihan air sumur bor.

Kondisi optimum diperoleh pada dosis 50 mg/L dengan waktu kontak 3–5 menit dan kecepatan pengadukan yang sesuai, di mana hasil terbaik dicapai dengan penggunaan PAC. Variasi dosis dan waktu kontak berpengaruh signifikan terhadap efektivitas proses, namun PAC tetap menunjukkan konsistensi penurunan kadar Fe dan Cu lebih baik dibanding tawas. Dengan demikian, penggunaan PAC lebih direkomendasikan dalam pengolahan air sumur bor yang tercemar logam berat, karena tidak hanya efektif menurunkan kadar Fe dan Cu, tetapi juga lebih efisien dalam membentuk *flok* yang stabil sehingga proses koagulasi berlangsung lebih maksimal.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa koagulan PAC lebih efektif dibandingkan dengan tawas. Hal ini terlihat dari kemampuannya yang lebih baik dalam menurunkan kadar TSS, serta menurunkan kadar logam Fe dan Cu pada air sampel. Selain itu, PAC juga mampu menjaga kestabilan pH air sehingga kualitas air hasil pengolahan lebih optimal dibandingkan dengan penggunaan tawas.

5. Daftar Pustaka

Azizah, N., Masrulita, M., Suryati, S., Suryati, S., & Bahri, S. (2021). Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Dosis Penambahan Koagulan Alami dari Selulosa Kulit Biji Bunga Matahari (*Helianthus annuus* L) terhadap Penurunan Kadar TSS dan TDS. *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, 1(2), 11–23. <https://doi.org/10.29103/cejs.v1i2.5036>

Budiman, A., Wahyudi, C., Irawati, W., & Hindarso, H. (2017). Kinerja Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) Dalam Penjernihan Air Sungai Kalimas Surabaya Menjadi Air Bersih. *Widya Teknik*, 7(1), 25–34. <http://journal.wima.ac.id/index.php/teknik/article/view/1258>

Fadila, D. F. M., Mustain, A., & Dandel, B. F. (2024). Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap Penyisihan Parameter Nilai Tss Dan Turbidity Pada Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Krimer. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 10(4), 734–742. <https://doi.org/10.33795/distilat.v10i4.6607>

Firra Rosariawari, & M.Mirwan. (2020). Effektivitas Pac Dan Tawas Untuk Menurunkan Kekeruhan Pada Air Permukaan. *Teknik Lingkungan*.

Kartini, M., Indrawati, R., & Suwono, S. (2019). Perbedaan Kadar Besi (Fe) pada Air Sumur Gali Di Dusun Wonodadi RT 07/ RW 10 yang Diberi PAC dengan yang Diberi Tawas. *Jurnal Laboratorium Khatulistiwa*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.30602/jlk.v2i1.319>

Mulya, W. (2015). Kajian Penggunaan Dosis Efektif Bahan Kimia (Tawas, Kapur, Kaporit) dalam Pengolahan Air. *JD Identifikasi*, 1(1), 1–11.

Mursitaningrum, A. P., Fricilia, D. K., & Adhani, L. (2024). Efektivitas Koagulan PAC dan Aluminium Sulfat dengan Kombinasi Flokulan pada Limbah Cair Pabrik Sepeda Motor. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 7(2), 90–95. <https://doi.org/10.24246/juses.v7i2p90-95>

Patricia, P., Kurniawati, D., Nasra, E., & Mulia, M. (2024). Pengaruh Ukuran Partikel Dan Kecepatan Pengadukan Terhadap Penyerapan Ion Logam Cu (Ii) Menggunakan Biosorben Kulit Matoa (Pometia Pinnata). *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, 8(2), 173–176. <https://doi.org/10.30743/cheds.v8i2.9637>

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Pedoman Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. *Sekretariat Negara Republik Indonesia*, 1(078487A), 1–483.

Tandiarrang, J., Devy, S. D., & Trides, T. (2016). Studi Perbandingan Penggunaan Tawas dalam Pengolahan Air Asam Tambang di PT. Kaltim (Research Ratio Employing Aluminium Sulfat (Al₂(SO₄)₃) And Calcium Hidroksida (Ca(OH)₂) In Processing Acid Mine Drainage At PT Kaltim Diamond Coal Subdistri. *Jurnal Teknologi Mineral*, 4(1), 23–30.

Widiawati, S., Ardistrya, F. B., Aktawan, A., & Alfiata, F. M. (2024). *Perbandingan Tawas Dan Poly Aluminium Chloride (PAC) Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe*. April, 1–8.

Yusuf, A. A. I. S., Rahim, H., Fadli, & Ganing, M. (2023). Optimasi Penambahan Polyaluminium Chloride (Pac) Dan Waktu Pengadukan Terhadap Kualitas Air Baku (Raw Water) Pada Ppsdm Migas Cepu. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 2(1), 22–25. <https://doi.org/10.61844/jtkm.v2i1.457>

Zega, F. I., Selly, R., & Zubir, M. (2021). Review of Adsorption of Fe Metal by Activated Carbon Adsorbent. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology (IJCST)*, 4(2), 74. <https://doi.org/10.24114/ijcst.v4i2.27600>