

Optimasi Pembubuhan Dosis Aluminium Sulfat Berdasarkan Variasi Kekeruhan Air Baku Pada Proses Koagulasi Dengan Metode *Jar test* di IPA TSM Perumda Air Minum Tirta Pawan Kabupaten Ketapang

R. Gagak Eko Bhaskoro ¹⁾, Nitis Aruming Firdaus ²⁾, Rita Fiyani ³⁾

¹Prodi Teknik Lingkungan, Akademi Teknik Tirta Wiyata Magelang
Jl. Duku Perum Korpri ABRi-Kramat Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah, Indonesia 56115
Email: r.gagakekob@gmail.com , Sinta ID 6105848

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Received</i> 23 September 2025</p> <p><i>Revised</i> 16 Oktober 2025</p> <p><i>Accepted</i> 12 Desember 2025</p> | <p>Abstrak</p> <p>Koagulasi merupakan proses penting dalam pengolahan air minum untuk menghilangkan partikel koloid penyebab kekeruhan. IPA Tirta Sarana Mulia Kabupaten Ketapang menggunakan aluminium sulfat sebagai koagulan. Penelitian ini bertujuan menentukan putaran <i>jar test</i> berdasarkan kondisi eksisting, dosis optimum aluminium sulfat berdasarkan variasi kekeruhan air baku, debit pembubuhan, serta efisiensi biaya koagulan. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan <i>trial and error</i> menggunakan <i>jar test</i> pada variasi kekeruhan 10–50 NTU. Hasil menunjukkan kecepatan putaran optimal 200 rpm selama 7 detik di pipa, 100 rpm selama 1,2 menit di bak koagulasi, dan 40–20 rpm selama 5–12 menit di bak flokulasi. Dosis optimum aluminium sulfat sebesar 1 mg/l (10 NTU) hingga 10 mg/l (50 NTU). Setiap variasi kekeruhan menghasilkan persamaan regresi dengan nilai R² mendekati 1, yang digunakan untuk menentukan debit dan stroke pompa secara akurat. Efisiensi biaya berkisar 92%–17% dengan penghematan Rp 91.831.450 – Rp 16.696.627. Penyesuaian dosis berdasarkan kekeruhan terbukti efektif secara teknis dan ekonomis.</p> <p>Kata kunci: Koagulasi, Aluminium Sulfat, <i>Jar test</i></p> |
| <p><i>*Correspondence</i></p> <p>R Gagak Eko Bhaskoro Email: r.gagakekob@gmail.com</p> | <p>Abstract</p> <p><i>Coagulation was an important process in drinking water treatment to remove colloidal particles that caused turbidity. The Tirta Sarana Mulia (TSM) Water Treatment Plant in Ketapang Regency used aluminum sulfate as a coagulant. This study aimed to determine the jar test rotation based on existing conditions, the optimum dose of aluminum sulfate according to variations in raw water turbidity, the dosing flow rate, and the cost efficiency of the coagulant. The method used was a quantitative method with a trial-and-error approach using a jar test at turbidity variations of 10–50 NTU. The results showed that the optimal stirring speed was 200 rpm for 7 seconds in the pipe, 100 rpm for 1.2 minutes in the coagulation tank, and 40–20 rpm for 5–12 minutes in the flocculation tank. The optimum dose of aluminum sulfate ranged from 1 mg/L (10 NTU) to 10 mg/L (50 NTU). Each turbidity variation produced a regression equation with an R² value close to 1, which was used to determine the dosing flow rate and pump stroke accurately. The cost efficiency ranged from 92% to 17% with savings of IDR 91,831,450 – IDR 16,696,627. The adjustment of dosage based on turbidity proved to be technically and economically effective.</i></p> <p>Keywords: <i>Coagulation, Aluminium Sulfate, Jar test</i></p> |

PENDAHULUAN

Koagulasi merupakan proses penting dalam pengolahan air minum untuk menghilangkan partikel koloid penyebab kekeruhan. IPA Tirta Sarana Mulia (TSM) Kabupaten Ketapang menggunakan aluminium sulfat sebagai koagulan utama. Namun, pembubuhan koagulan di IPA tersebut belum mempertimbangkan variasi kekeruhan air baku dan masih menggunakan dosis yang sama setiap fluktuasi kekeruhan yang berbeda. Hal ini dapat menyebabkan ketidakefisienan dalam proses pengolahan air, baik dari sisi teknis maupun biaya operasional.

Standar kualitas air minum berdasarkan Permenkes No. 2 Tahun 2023 menyatakan bahwa batas maksimum kekeruhan adalah <3 NTU. Oleh karena itu, dosis koagulan yang tidak sesuai dengan kondisi kekeruhan air baku dapat menyebabkan hasil pengolahan tidak memenuhi standar tersebut. Untuk menjamin kualitas air yang dihasilkan dan menghindari pemborosan bahan kimia, diperlukan penyesuaian dosis koagulan sesuai tingkat kekeruhan sebenarnya.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Ambas Fauzi (2022) menunjukkan bahwa penerapan pembubuhan koagulan secara bertahap dapat meningkatkan

efisiensi penurunan kekeruhan. Dalam penelitiannya di IPAM Kesugihan, Cilacap, penggunaan dosis bertahap mampu menurunkan kekeruhan hingga 1,45 NTU dengan efisiensi 99,68%. Hal ini menjadi referensi bahwa pengaturan dosis yang tepat sangat berpengaruh terhadap kualitas air hasil olahan dan efisiensi penggunaan koagulan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan pembubuhan aluminium sulfat pada proses koagulasi menggunakan metode *jar test*. Tujuan utamanya adalah menentukan putaran *jar test*, menentukan dosis optimum berdasarkan variasi kekeruhan air baku, menentukan debit pembubuhan dan pengaturan stroke pompa dosing berdasarkan larutan stok, serta menganalisis efisiensi biaya penggunaan koagulan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih efisien dan efektif bagi pengolahan air di IPA TSM Perumdam Tirta Pawan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan pendekatan *trial and error*. Kecepatan pengaturan putaran *jar test* diperoleh dari hasil perhitungan

berdasarkan pengukuran langsung dimensi unit koagulasi dan flokulasi di lapangan. Data kekeruhan air baku tahun 2024 digunakan untuk menentukan variasi kekeruhan air baku. Tahap penentuan dosis optimum aluminium sulfat pada setiap variasi kekeruhan air baku dilakukan dengan metode *jar test*. Konsentrasi larutan stok yang digunakan adalah 1%. Matriks debit pembubuhan diperoleh melalui perhitungan yang melibatkan data debit, dosis, dan konsentrasi larutan stok. Sementara itu, analisis efisiensi biaya koagulan diperoleh melalui perhitungan biaya koagulan selama satu tahun, kemudian dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan oleh Perumda Air Minum Tirta Pawan selama satu tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Penentuan Pengaturan Waktu Kontak dan Putaran *Jar test*

Penentuan pengaturan waktu kontak dan putaran *jar test* bertujuan untuk menentukan berapa putaran *jar test* dan waktu kontak yang sesuai dengan kondisi di lapangan pada unit koagulasi dan flokulasi. Dalam penentuan waktu kontak dan putaran *jar test* di gunakan data debit IPA TSM,

alat ukur yang digunakan berupa v-notch 90°.

Perhitungan debit yang diukur dengan menggunakan rumus V-notch 90°:

$$Q = 1,417 \times h^{5/2}$$

$$Q = 1,417 \times 0,27^{5/2}$$

$$Q = 0,05368 \text{ m}^3/\text{detik} \rightarrow 53,68 \text{ L}/\text{detik}$$

Keterangan:

Q : Debit air (m³/detik)

H : Tinggi air diatas ambang (m)

Selanjutnya melakukan pengukuran pada unit koagulasi, flokulasi dan sedimentasi. Hasil pengukuran pada unit koagulasi dan flokulasi dihitung menggunakan formulasi *velocity gradient* (G), kemudian dikonversikan ke dalam Bilangan Champ untuk memperoleh waktu kontak dan putaran *jar test* yang sesuai dengan spesifikasi alat di lapangan.

Perhitungan Konversi:

1. Cari bilangan champ terlebih dahulu: Bilangan Champ = $G \times t_d$
2. Konversi nilai putaran yang di rencanakan dari rpm ke rps
3. Menghitung nilai power (P): $P = K_t \times n^3 \times D_t^5 \times \rho$
4. Mencari nilai gradien (G): $\sqrt{\frac{P}{\pi \times V}}$
5. Kemudian hitung t_d nya menggunakan rumus bilangan champ.

Bilangan Champ = $G \times t_d$

Keterangan:

G : Gradien kecepatan rata-rata
 (l/det)

t_d : Waktu kontak (det)

P : Kebutuhan power (watt)

n : Putaran paddle (rps)

Dt : Lebar paddle (m)

μ : Viskositas absolut (N.det/C2)

V : Volume bak (m^3)

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan menggunakan rumus tersebut, kemudian didapatkan hasil waktu kontak dan kecepatan putaran *jar test* untuk penentuan dosis optimum disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 1. Waktu Kontak dan Kecepatan Putaran *Jar test*

| No | Putaran <i>Jar Test</i> (rpm) | Waktu (menit) |
|------------------|-------------------------------|---------------|
| Unit Koagulasi | | |
| 1 | 200 | 0,114 |
| 2 | 100 | 1,2 |
| Unit Flokulasi | | |
| 3 | 40 | 5,3 |
| 4 | 40 | 5 |
| 5 | 40 | 9 |
| 6 | 20 | 5 |
| 7 | 20 | 11 |
| 8 | 20 | 12 |
| Unit Sedimentasi | | |
| 9 | 0 | 33 |

b. Analisis Dosis Optimum Aluminium Sulfat

Analisis dosis koagulan aluminium sulfat dilakukan untuk

menentukan dosis optimum yang digunakan dalam mengolah air baku. Untuk menentukan kebutuhan dosis optimum koagulan, langkah yang harus dilakukan adalah melakukan percobaan *jar test* dengan beberapa variasi kekeruhan air baku dan variasi dosis. Kemudian dari data kekeruhan hasil *jar test* dan dosis koagulan dibuat grafik dengan menarik garis bantu 45° agar didapat dosis optimum terpilih. Untuk variasi kekeruhan dan variasi dosis aluminium sulfat yaitu sebagai berikut:

1. Pada kekeruhan 10 NTU di gunakan variasi dosis aluminium sulfat sebesar: 1, 2, 3, 4, 5 dan 12 mg/l, dengan hasil perhitungan volume yang digunakan yaitu adalah 0,1 ml; 0,2 ml; 0,3 ml; 0,4 ml; 0,5 dan 1,2 ml.
2. Pada kekeruhan 20 NTU di gunakan variasi dosis aluminium sulfat sebesar: 2, 3, 4, 5, 6 dan 12 mg/l, dengan hasil perhitungan volume yang digunakan yaitu adalah 0,2 ml; 0,3 ml; 0,4 ml; 0,5 ml; 0,6 dan 1,2 ml.
3. Pada kekeruhan 30 NTU di gunakan variasi dosis aluminium sulfat sebesar: 5, 6, 7, 8, 10 dan 12 mg/l, dengan hasil perhitungan volume

- yang digunakan yaitu adalah 0,5 ml; 0,6 ml; 0,7 ml; 0,8 ml; 1 dan 1,2 ml.
4. Pada kekeruhan 40 NTU di gunakan variasi dosis aluminium sulfat sebesar: 8, 10, 12, 14, 16 dan 18 mg/l, dengan hasil perhitungan volume yang digunakan yaitu adalah 0,8 ml; 1 ml; 1,2 ml; 1,4 ml; 1,6 dan 1,8 ml.
 5. Pada kekeruhan 50 NTU di gunakan variasi dosis aluminium sulfat sebesar: 10, 12, 14, 16, 18 dan 20 mg/l, dengan hasil perhitungan volume yang digunakan yaitu adalah 1 ml; 1,2 ml; 1,4 ml; 1,6 ml; 1,8 dan 2,0 ml.

Setelah variasi dosis aluminium sulfat dan variasi kekeruhan telah didapatkan kemudian selanjutnya dilakukan percobaan *jar test* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Siapkan *beaker glass* ukuran 1000 ml dan gelas ukur 1000 ml.
2. Siapkan larutan koagulan aluminium sulfat dengan konsentrasi 1 % sesuai dengan volume yang telah disajikan dalam (Tabel 5.18 Penggunaan Dosis Koagulan Aluminium Sulfat) lalu masukkan kedalam spuit sesuai ukuran tiap variasi kekeruhan air baku untuk percobaan *jar test*.
3. Masukkan air ke dalam gelas ukur 1000 ml sampai tanda batas, kemudian pindahkan kedalam *beaker glass* 1000 ml.
4. Letakan *beaker glass* yang berisi air baku sebanyak 1000 ml pada alat *jar test*.
5. Jalankan *jar test* dengan pengadukan cepat 200 rpm selama 7 detik atau setara dengan 0,114 menit, diikuti dengan 100 rpm selama 1,2 menit. Tambahkan koagulan aluminium sulfat yang telah disiapkan ke dalam masing-masing *beaker glass* bersamaan dengan dimulainya pengadukan cepat. Kemudian atur menjadi putaran lambat dengan mengubah kecepatan 40 rpm selama 5,3 menit, 40 rpm selama 5 menit, 40 rpm selama 9 menit, 20 rpm selama 5 menit, 20 rpm selama 11 menit dan 20 rpm selama 12 menit.
6. Matikan alat *jar test* dan biarkan flok mengendap selama 33 menit.
7. Ambil sampel air dalam *beaker glass* pada titik kedalaman air yang sama yaitu 10 cm dari permukaan air.
8. Lakukan pengecekan parameter pH, suhu dan kekeruhan dari masing-masing sampel.

Setelah melakukan percobaan *jar test*, kemudian didapatkan data hasil pengukuran pH, suhu dan kekeruhan pada variasi kekeruhan air baku di Instalasi Pengolahan Air TSM. Dari data kekeruhan dan dosis bahan koagulan yang telah di peroleh kemudian dibuat grafik. Dari grafik tersebut kemudian ditarik garis tan 45°, garis pertama yang menyinggung merupakan dosis optimum yang terpilih.

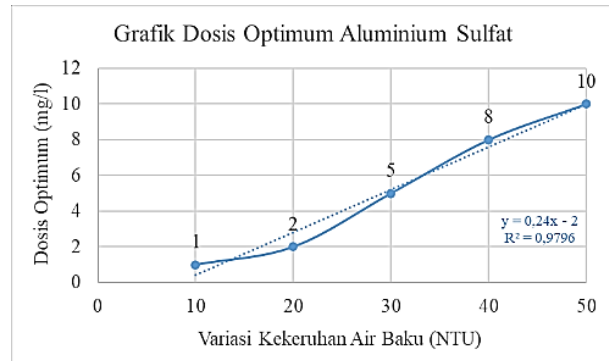
Dari keseluruhan grafik diperoleh nilai dosis optimum koagulan aluminium sulfat untuk masing-masing variasi kekeruhan air baku. Data tersebut disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 2. Dosis Optimum Aluminium Sulfat

| No | Variasi Kekeruhan Air Baku (NTU) | Dosis Optimum (mg/l) |
|----|----------------------------------|----------------------|
| 1 | 10 | 1 |
| 2 | 20 | 2 |
| 3 | 30 | 5 |
| 4 | 40 | 8 |
| 5 | 50 | 10 |

Dari tabel di atas, data kemudian disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah visualisasi hubungan antara variasi kekeruhan air baku dan dosis optimum aluminium sulfat yang diperlukan. Dari grafik tersebut

dipeoleh persamaan $y = 0,24x - 2$ dengan nilai $R^2 = 0,9796$. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Grafik Dosis Optimum Aluminium Sulfat

c. Analisis Matriks Debit Pembubuhan

Analisis matriks debit pembubuhan digunakan untuk menentukan berapa banyak jumlah koagulan aluminium sulfat yang akan aplikasikan ke wtp. Dalam menentukan debit pembubuhan koagulan aluminium sulfat di perlukan data variasi kekeruhan, dosis optimum dari masing-masing variasi kekeruhan dan variasi konsentrasi larutan stok. Konsentrasi larutan stok yang digunakan oleh Perumda Air Minum Tirta Pawan adalah 1 % sehingga dalam penelitian ini digunakan variasi konsentrasi larutan stok sebesar 0,5 %, 1 %, 1,5 %, 2 %, 2,5 %, 3 %, 3,5 %, 4

%, 4,5 % dan 5%. Contoh erhitungan debit pembubuhan dan stroke pompa yaitu sebagai berikut:

- Perhitungan Debit Pembubuhan

Diketahui:

Dosis kekeruhan 10 NTU: 1 mg/l

Debit Air Produksi: 53,68 L/detik

Konsentrasi Larutan Stok: 1 %
(10.000 mg/l)

Dicari debit pembubuhan (qA):

$$QA=(Q \times tA \times 3.600) / CA$$

$$=(53,68L/d \times 1mg/l \times 3.600) / 10.000$$
$$mg/l = 19,3 L/jam$$

- Perhitungan Stroke Pompa

Diketahui:

Debit Pembubuhan Koagulan
: 19,3 L/jam

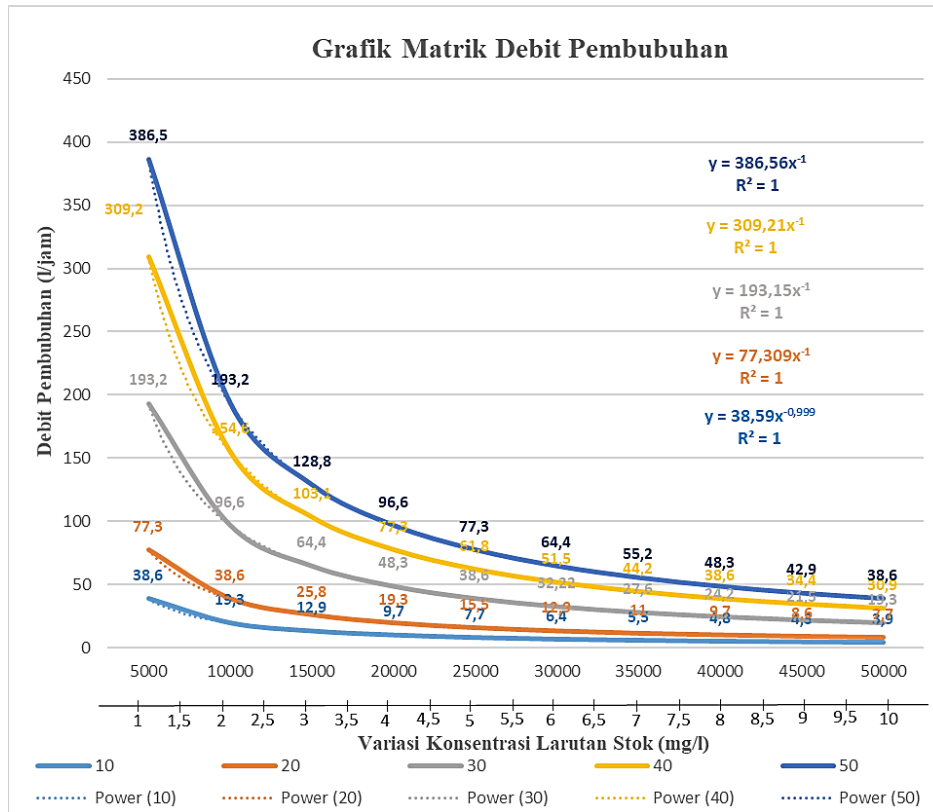
Debit Max Pompa Dosing
: 320 L/jam

Dicari stroke pompa dosing:

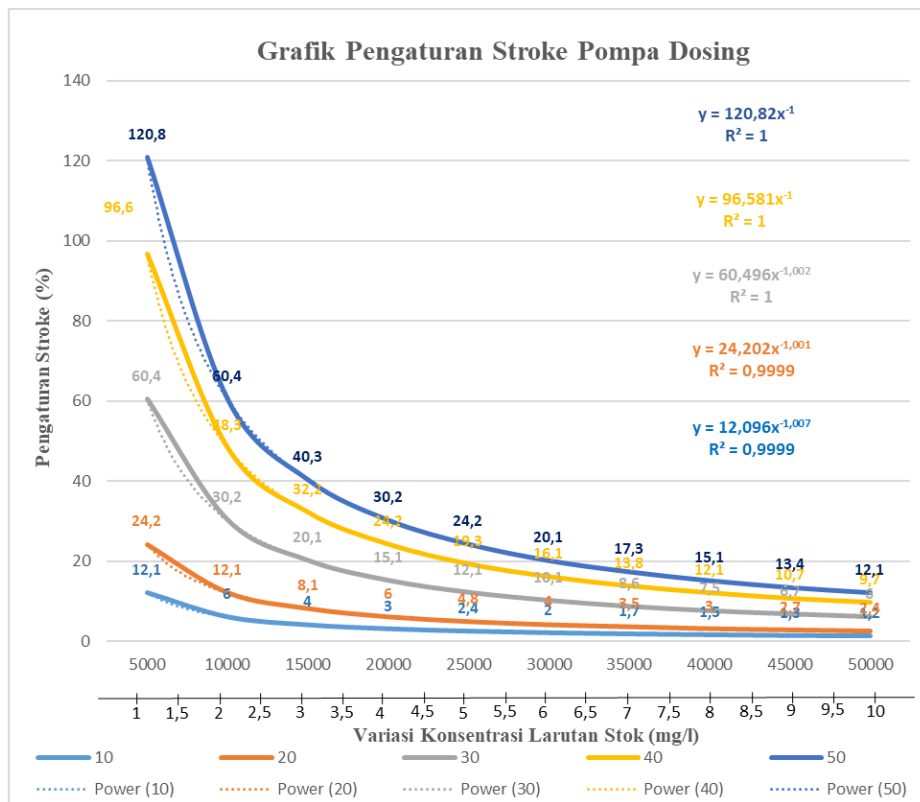
$$\% \text{ Stroke} = \frac{Q \text{ pembubuhan koagulan (L/jam)}}{Q \text{ maks pompa dosing (L/jam)}} \times 100$$
$$= \frac{19,3 \text{ L/jam}}{320 \text{ L/jam}} \times 100 = 6 \%$$

Dari keseluruhan hasil perhitungan debit pembubuhan dan pengaturan

stroke berdasarkan variasi kekeruhan, kemudian di buat grafik matriks debit pembubuhan dan pengaturan % stroke pompa guna mempermudah pembacaan debit pembubuhan dan pengaturan % stroke pompa. Hasil grafik disajikan pada Gambar 2, Dari grafik di tersebut diperoleh persamaan regresi untuk masing-masing dosis koagulan yang menunjukkan hubungan antara variasi konsentrasi larutan stok dengan debit pembubuhan yang dibutuhkan, serta hubungan antara konsentrasi larutan stok dengan pengaturan stroke pompa dosing. Persamaan ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan kebutuhan debit pembubuhan berdasarkan konsentrasi larutan stok yang tersedia. Dengan demikian, operator dapat menyesuaikan pengaturan sistem dosing agar dosis koagulan yang diinginkan tetap tercapai secara efisien, tanpa perlu melakukan penyesuaian berulang maupun pembuatan larutan stok secara terlalu sering.



Gambar 2. Grafik Debit Pembubuhan



Gambar 3. Grafik Pengaturan% Stroke Pompa

d. Analisis Efisiensi Biaya Penggunaan
 Zat Koagulan Aluminium Sulfat

Untuk memastikan penggunaan zat koagulan aluminium sulfat yang efektif dan ekonomis selama satu tahun, perlu dilakukan analisis efisiensi biaya. Analisis dilakukan berdasarkan penggunaan koagulan aluminium sulfat selama satu tahun agar mencerminkan kondisi operasional secara menyeluruh dan

mengikuti standar evaluasi kinerja operasional PDAM. Perbandingan efisiensi biaya dilakukan antara dosis aluminium sulfat yang didapatkan dari uji jar test dalam penelitian ini dengan dosis aluminium sulfat yang digunakan oleh Perumda Air Minum Tirta Pawan. Hasil rekapitulasi dari perhitungan efisiensi biaya koagulan disajikan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 3. Hasil Rekapitulasi Perhitungan Efisiensi Biaya Koagulan

| Pada Kekeruhan (NTU) | Dosis (mg/l) | Jumlah Koagulan (Kg/Thn) | Biaya Koagulan Per Tahun | Selisih Biaya Koagulan Per Tahun | % Efisiensi Biaya Koagulan (%) |
|----------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 10 | 1 | 1.670 | 8.348.314 | 91.831.450 | 92 |
| 20 | 2 | 3.339 | 16.696.627 | 83.483.136 | 83 |
| 30 | 5 | 8.348 | 41.741.568 | 58.438.195 | 58 |
| 40 | 8 | 13.357 | 66.786.509 | 33.393.254 | 33 |
| 50 | 10 | 16.697 | 83.483.136 | 16.696.627 | 17 |

KESIMPULAN

Pengaturan waktu kontak dan putaran jar test disesuaikan dengan kondisi eksisting unit koagulasi dan flokulasi di IPA TSM. Putaran di dalam pipa dengan kecepatan 200 rpm selama 7 detik atau setara dengan 0,114 menit, putaran di bak koagulasi dengan kecepatan 100 rpm selama 71 detik atau setara dengan 1,2 menit dan putaran di

bak flokulasi dengan kecepatan 40 rpm selama 5,3 menit, 40 rpm selama 5 menit, 40 rpm selama 9 menit, 20 rpm selama 5 menit, 20 rpm selama 11 menit dan 20 rpm selama 12 menit. Dosis optimum aluminium sulfat adalah 1 mg/l (10 NTU), 2 mg/l (20 NTU), 5 mg/l (30 NTU), 8 mg/l (40 NTU) dan 10 mg/l (50 NTU). Setiap variasi kekeruhan menghasilkan persamaan regresi *power*

yang dapat digunakan untuk menentukan debit pembubuhan dan stroke pompa secara akurat, dengan nilai R^2 mendekati/sama dengan 1. Efisiensi biaya yang diperoleh pada saat fluktuasi kekeruhan 10-50 NTU yaitu 92%-17%, selisih yang didapatkan yaitu sebesar Rp 91.831.450–Rp 16.696.627.

Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk menyusun grafik matriks yang menggabungkan variasi konsentrasi larutan stok, tingkat kekeruhan dan kebutuhan dosis koagulan. Grafik-grafik tersebut dibuat dengan tujuan untuk mempermudah operator dalam menyesuaikan dosis koagulan tanpa perhitungan manual saat kondisi berubah, sehingga proses pembubuhan dapat dilakukan dengan lebih efisien, cepat dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, A. S., Bhaskoro, R. G. E., & Firdaus, N. A. (2017). *Pelatihan Penilaian Kinerja Bangunan Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) dan Pembubuhan Bahan Kimia di PDAM Tirta Perwitasari Kabupaten Purworejo*. Community Empowerment, 2(2), 39-43.
- Bhaskoro, R. G. E., & Ramadhan, T. E. (2018). *Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karangpilang I PDAM Surya Sembada Kota Surabaya Secara Kuantitatif*. Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan, 15(2), 62-68.
- Fauzi, A. (2022). *Efisiensi Pembubuhan Koagulan Pada Proses Koagulasi Ipam Kesugihan Perumdam Tirta Wijaya Kabupaten Cilacap*. Akademi Teknik Tirta Wiyata Magelang.
- Joko, Tri. (2010) *Unit Produksi dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Menteri Kesehatan Indonesia. 2023. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Menteri Kesehatan Republik Indonesia.
- Pemerintah Kabupaten Ketapang. (2021). *Peraturan Daerah Kabupaten Ketapang Nomor 3 Tahun 2021 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kabupaten Ketapang Tahun 2021–2026*. Ketapang: Pemerintah Kabupaten Ketapang.
- Putri, A. N. T. (2020). *Efisiensi Koagulan Alumunium Sulfat $Al_2(SO_4)_3$ Dan Poly Alumunium Chloride $Al_2Cl(OH)_5$ Pada Dosis Dan Kecepatan*. Universitas Brawijaya.
- Reynold, T.D. & Richards. P. A. (1996). *Unit Operation and Process In Enviromental Engineering* (Vol.20): PWS Publishing Company Boston MA.
- SNI No. 6774 Tahun (2023). *Tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air*.