

***Turbidity, Total Suspended Solid, Chemical Oxygen Demand Dipengaruhi Oleh Jumlah Koagulan, pH Dan Kecepatan Pengadukan Pada Proses Koagulasi Dalam Pengolahan Air Limbah***

**Agung Rasmito<sup>1)</sup>, Bambang Sutejo<sup>1)</sup>, Moh. Ainul Fais<sup>1\*)</sup> Yuyun Yuniati<sup>2)</sup>**

Fakultas Teknik, Universitas WR Supratman Surabaya, Indonesia

Fakultas Pertanian Universitas Dr. Soetomo, Surabaya, Indonesia

\*) Corresponding author: [moh.ainulfais29@gmail.com](mailto:moh.ainulfais29@gmail.com)

***Abstract***

Wastewater treatment using the coagulation-flocculation process is greatly influenced by the operating conditions of the coagulation process. Among others, pH, stirring speed, and the amount of coagulant added. In this study, the emphasis is on the coagulation process. The purpose of this study was to find the operating conditions of the coagulation process that produce low turbidity levels, low total suspended solid levels, and low chemical oxygen levels. The variables in this study were pH: 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 9.5. Stirring speed in the coagulation process (rpm): 100, 200, 300. The amount of coagulant added (ml): 5, 10, 15. The conclusion of this study, namely the lowest level for turbidity is 18 Ntu, the lowest level for total suspended solids is 6 ppm, and the lowest level for chemical oxygen demand is 3620 ppm. The optimal conditions were obtained in the flocculation process with the addition of 15 ml of coagulant, a stirring speed of 300 rpm, and a pH of 9.5.

***Abstrak***

Pengolahan air limbah yang menggunakan proses koagulasi flokulasi hasilnya sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi proses koagulasi. Antara lain, pH, kecepatan pengadukan dan jumlah koagulan yang ditambahkan. Pada penelitian ini ditekankan pada proses koagulasinya. Tujuan dari penelitian ini untuk mencari kondisi operasi proses koagulasi yang menghasilkan kadar *turbidity* yang rendah, kadar *total suspended solid* yang rendah, juga kadar *chemical oxygen* yang rendah. Variabel dalam penelitian ini yaitu, pH : 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5. Kecepatan pengadukan pada proses koagulasi (rpm) : 100, 200, 300. Jumlah koagulan yang ditambahkan (ml) : 5, 10, 15. Kesimpulan dari penelitian ini, yaitu kadar terendah untuk turbiditi sebesar 18 NTU, kadar terendah untuk *total suspended solid* sebesar 6 ppm dan kadar terendah untuk *chemical oxygen demand* 3620 ppm. Kondisi optimal tersebut diperoleh pada proses flokulasi dengan penambahan koagulan 15 ml, kecepatan pengadukan 300 rpm dan pH 9,5.

***Keywords :*** *Chemical oxygen demand, Flokulasi, turbidity, Toagulasi, Total suspended solid*

## PENDAHULUAN

Pengolahan limbah cair menggunakan proses koagulasi-flokulasi sering digunakan oleh industri-industri kimia agar memenuhi standar baku mutu lingkungan yang sudah ditetapkan. Proses koagulasi-flokulasi sangat dipengaruhi oleh pH pada saat proses koagulasi, jumlah koagulan yang ditambahkan, juga kecepatan pengadukan. Beberapa penelitian yang sudah dilakukan tentang hal ini yaitu, [4] mengatakan bahwa pengolahan air limbah dapat menggunakan metode koagulasi dan flokulasi. Dimana keberhasilannya dipengaruhi jenis koagulan, dosis koagulan, proses pengadukan dan pH. [2] mengolah limbah cair tahu, menggunakan biji pepaya sebagai biokoagulan untuk menemukan bahan menemukan bahan pengolahan limbah yang lebih terjangkau. Teknis penelitiannya dengan dosis biji papaya 7 gram/500 ml berhasil menurunkan konsentrasi akhir *Total Suspended Solid* (TSS), *Chemical Oxygen Demand* (COD), biochemical oxygen demand (BOD), dan meningkatkan pH.

[3] Melakukan penelitian tentang pengolahan air baku PDAM Surabaya Hasil analisisnya mengatakan bahwa perbedaan konsentrasi koagulan memiliki pengaruh terhadap proses pengolahan air, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang mendukung adanya variasi penggunaan konsentrasi koagulan. Konsentrasi koagulan sangat berpengaruh pada kualitas air terutama pada nilai kekeruhan dan pH air. Konsentrasi koagulan yang semakin besar menyebabkan nilai kekeruhan dan pH air semakin kecil, begitupun sebaliknya. [11] membuat simulasi pengolahan air di PDAM Tirta Moedal Semarang menggunakan *Chemical Mix Alum* (CMA) yang ditambahkan pada proses koagulasi. Hasil analisis *regresi linear* berganda dipilih sebagai metode yang membantu penyelesaian masalah tersebut dengan mengestimasi pengaruh dua parameter air baku, yaitu *turbidity* dan pH air baku terhadap penggunaan dosis koagulan. Dari perhitungan koefisien determinasi, nilai (ARS) variabel dependen menunjukkan nilai sebesar 0,733 yang artinya penentuan dosis optimum koagulan dipengaruhi sebesar 73,3% oleh variabel *turbidity* atau tingkat kekeruhan dan pH air baku. [13] mengolah limbah cair tahu menggunakan kitosan yang terbuat dari cangkang kepiting rajungan sebagai koagulan. Hasil terbaiknya diperoleh didapatkan pada kecepatan 150 rpm dengan konsentrasi kitosan 125 mg menghasilkan nilai pH 5,5, TSS 4,18 mg/l dan BOD 2,05 mg/l. Semakin tinggi konsentrasi kitosan dan semakin lama waktu pengadukan menghasilkan tingkat efektivitas yang tinggi. [9] menguji air sumur menggunakan karbon aktif sekam padi terhadap parameter pH, *turbidity*, TSS dan TDS. Hasil penelitiannya, dosis dan waktu kontak yang paling efektif untuk menurunkan kadar pH, *turbidity*, TSS dan TDS adalah 0,9 gram dengan lama waktu kontak 60 menit.

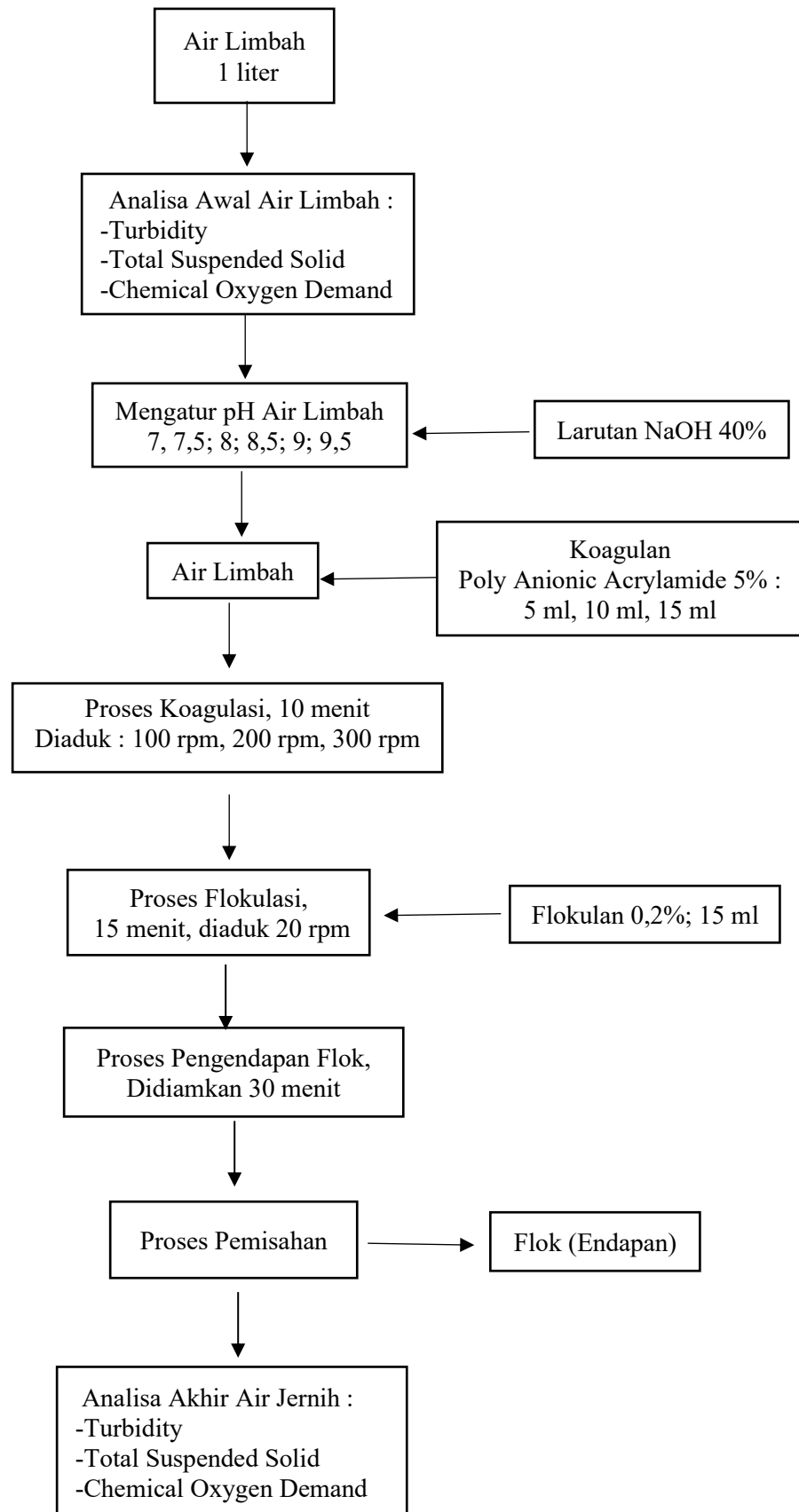
[5] Melakukan penelitian tentang pengolahan limbah dengan menggunakan biokoagulan, dalam hal ini konsentrasi dari biokoagulan yang harus diperhatikan. Warna, kekeruhan, dan total dissolved solids (TDS) yang akan diamati hasilnya dengan metode flokulasi-koagulasi. Hasilnya biokoagulan chitosan sangat efektif untuk menurunkan anatara lain, warna dapat diturunkan sampai 84%, kekeruhan turun sampai 83%, dan total dissolved solid turun sampai 54%. [18] melakukan penelitian pada instalasi pengolahan air baku suatu pabrik agar mendapatkan kualitas air yang baik dari sumber airnya. Dengan jar test maka dapat ditentukan dosis optimum dalam penambahan larutan koagulan dan flokulan. Hasilnya pH dan *turbidity* memiliki perubahan yang signifikan, dimana harga pH turun 10% dan *turbidity* dapat turun sampai 95%. [1] Metode pengolahan limbah cair yang ditelitinya menggunakan system hidraulis koagulasi flokulasi untuk menurunkan total suspended solids (TSS) dan *turbidity*. Kelebihan dari pengaduk hidraulis ini antara lain waktu detensi yang singkat, tidak memerlukan energi listrik, dan tidak menghasilkan emisi. Kesimpulan dari penelitiannya yaitu dapat menurunkan TSS 84% dan *turbidity* 93%. [5] dalam penelitiannya mengatakan penambahan dosis koagulan berpengaruh terhadap parameter kualitas air diantaranya pH,

*turbidity*, TDS dan total hardness. Koagulan yang digunakan adalah Poly Aluminium Chloride (PAC). Kesimpulannya bahwa dosis koagulan PAC yang optimum adalah sebesar 43 mg/l. Semakin besar dosis koagulan yang ditambahkan pada sampel air tersebut maka semakin kecil nilai pH, nilai *turbidity*, nilai TDS dan total hardness. [10] penelitiannya tentang pengolahan air baku dengan menggunakan koagulan Aluminium Sulphate dan Poly Aluminium Chlorida (PAC). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa ada hubungan antara penambahan dosis koagulan Aluminium Sulphate terhadap *turbidity* dengan nilai korelasi sebesar -0,951. Juga dengan penambahan dosis koagulan PAC yang mendapatkan nilai korelasi yaitu -0,952 dan -0,879. Kesimpulannya, adanya hubungan yang sangat kuat dan negatif antara penambahan dosis koagulan terhadap *turbidity* pada kedua jenis koagulan ini. Hubungan negatif menunjukkan bahwa semakin banyak dosis koagulan yang ditambahkan maka semakin menurunkan nilai *turbidity*nya.

[7] Penelitian yang dilakukannya tentang pengolahan limbah cair disuatu pabrik menggunakan proses koagulasi-flokulasi. Jenis koagulan-flokulan yang digunakan adalah organic coagulan dan cationic flocculant. Menggunakan variable pH, dosis koagulan dan dosis flokulan. Kesimpulan dari penelitiannya bahwa prosentase penurunan terbesar dari masing-masing parameter diantaranya *turbidity* 96,92%; fosfat 29,47% dan Zinc 62,08%. [16] penelitiannya dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter pH dan dosis pada proses koagulasi dan flokulasi dengan menggunakan koagulan aluminum sulfat dan ferri klorida. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa pengaruh pH dan dosis pada koagulan aluminum sulfat sangat signifikan, sedangkan ferri klorida memberikan rentang pH operasi yang lebih besar dibandingkan dengan aluminum sulfat.

## METODOLOGI PENELITIAN

Membuat larutan koagulan Poly Anionic Acrylamide (PAC) dengan konsentrasi 5% dan larutan flokulan dengan konsentrasi 0,2%. Mengambil air limbah sebanyak 1 (satu) liter dimana sebelumnya mengukur air limbah tersebut sebagai kandungan awal: (*Turbidity*) awal 51 NTU, *Total Suspended Solid* (TSS) awal 48 ppm, *Chemical Oxygen Demand* (COD) awal 3850 ppm. Kemudian memasukkan air limbah tadi kedalam reaktor, dan mengatur pH nya menjadi 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5 (sebagai variabel) menggunakan larutan NaOH 40%. Memasukan kedalam air limbah tadi koagulan PAC sebanyak 5ml, 10ml, 15ml (sebagai variabel). Mengatur suhunya pada suhu kamar. Kemudian mengaduknya dengan kecepatan 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm (sebagai variabel) selama 10 menit. Setelah waktu 10 menit tercapai, pengadukan dihentikan. Kemudian menambahkan flokulan dengan konsentrasi 0,2% sebanyak 5ml dan mengaduknya dengan kecepatan 20 rpm selama 15 menit. Setelah waktu 15 menit tercapai, pengadukan dihentikan. Mendiamkan selama 30 menit untuk pengendapan flok yang dihasilkan. Floknya dipisahkan dari bagian yang jernih. Menganalisa bagian yang jernihnya sebagai (*Turbidity*) akhir, *Total Suspended Solid* (TSS) akhir, *Chemical Oxygen Demand* (COD) akhir. Proses percobaan yang kami lakukan dapat dilihat pada diagram alir percobaan gambar 1.



Gambar.1. Diagram Alir Percobaan

Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses koagulasi-flokulasi dalam pengolahan air limbah dengan variasi parameter seperti pH, dosis koagulan, dan kecepatan pengadukan. Air limbah awal dianalisis untuk parameter turbiditas, *Total Suspended Solid* (TSS), dan *Chemical Oxygen Demand* (COD). pH air limbah diatur pada rentang 7–9,5 menggunakan larutan NaOH 40%, kemudian ditambahkan koagulan *Poly Anionic Acrylamide* 5% dengan variasi dosis 5 ml, 10 ml, dan 15 ml. Proses koagulasi dilakukan selama 10 menit dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, 200 rpm, dan 300 rpm, dilanjutkan dengan flokulasi selama 15 menit pada kecepatan 20 rpm menggunakan flokulan 0,2% sebanyak 15 ml. Setelah proses pengendapan selama 30 menit, endapan (flok) dipisahkan, dan air jernih yang dihasilkan dianalisis kembali untuk mengevaluasi penurunan turbiditas, TSS, dan COD sebagai indikator efektivitas pengolahan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini kami tabelkan pada tabel 1 yang menunjukkan kadar *turbidity* akhir. Kadar total *suspended solid* akhir kami tabelkan pada tabel 2. Sedangkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) akhir kami tabelkan pada tabel 3. Dengan naiknya kadar pH pada proses koagulasi menyebabkan kadar *turbidity*, total *suspended solid*, dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) kadarnya makin turun, hal ini dikarenakan koagulannya bekerja dengan baik pada pH yang tinggi. Naiknya jumlah koagulan yang ditambahkan pada proses koagulasi menyebabkan gumpalannya semakin besar. Padatan yang terlarut bereaksi dengan koagulan yang ditambahkan, sehingga kadar *turbidity*, total *suspended solid* dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) semakin kecil. Naiknya kecepatan pengadukan pada proses koagulasi menyebabkan kontak antara koagulan dengan pencemar air semakin besar yang menyebabkan pembentukan gumpalan semakin cepat dan kadarnya besar, sehingga kadar *turbidity*, total *suspended solid* dan COD nya semakin kecil. Hal ini sama seperti yang dilakukan, [10] menceritakan hasil penelitiannya pada unit pengolahan limbah salah satu pusat perbelanjaan di Kota Malang secara fisik melalui grease trap, kimia melalui koagulasi-flokulasi, dan biologi melalui aerobik. Penelitiannya bertujuan menganalisis pengaruh rasio koagulan poly aluminium chloride terhadap parameter pH, TDS, TSS, kekeruhan, COD, BOD, dan minyak/lemak. Hasilnya yaitu parameter pH, TDS, kekeruhan, TSS, COD, BOD dan minyak/lemak masih belum memenuhi baku mutu, tetapi sudah terjadi penurunan antara lain nilai pH menurun 2,11%, nilai COD menurun 50% dan nilai BOD menurun 56,82%. TDS menurun sebesar 9,14%, kekeruhan menurun sebesar 83,78%, TSS menurun sebesar 17,57%, dan minyak/lemak menurun sebesar 92,16%. [8] melakukan penelitian pada instalasi pengolahan air limbah menggunakan sistem pengolahan biologi lumpur aktif yang digabung dengan pengolahan kimia menggunakan metode koagulasi-flokulasi. Salah satu faktor dalam keberhasilan proses koagulasi-flokulasi adalah penambahan bahan kimia sebagai koagulan dan kondisi pH pada air limbah. Koagulan yang digunakan adalah  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeSO}_4$ , dan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Flokulan yang digunakan jenis *Poly Anionic Acrylamide*. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa koagulan  $\text{FeCl}_3$  dengan 8 paling efektif menurunkan kadar COD, TSS, dan kekeruhan. [5] penelitiannya mengkaji dengan mengolah limbah cair batik dari pabrik tekstil menggunakan metode elektrokoagulasi dengan elektroda aluminium. Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa variabel jarak elektroda dan kecepatan pengadukan mempengaruhi nilai efisiensi *penurunanchemical oxygen demand* dan nilai penurunan total *suspended solid*. Semakin tinggi kecepatan pengadukan dan semakin dekat jarak antar elektroda, semakin tinggi pula efisiensi penurunan TSS dan COD.

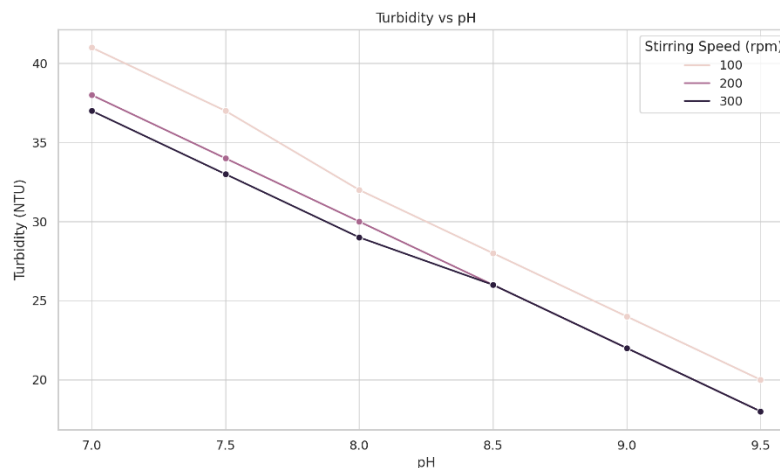
[13] penelitiannya bertujuan mengembangkan teknologi *Sequencing Batch Reactor* (SBR) yang dimodifikasi dengan adsorben dari tempurung kelapa dan bamboo yang dipraktikkan pada

limbah cair batik. Metodenya menggunakan system koagulasi-flokulasi, baru kemudian menggunakan *Sequencing Batch Reactor*. Pada tahap koagulasi-flokulasi, menggunakan koagulan PAC (*Poly Aluminium Chloride*). Sedangkan pada tahap dua yang menggunakan SBR, diatur *Hydraulic Retention Time* (HRT) dan berat adsorben (tempurung kelapa, bamboo dan zeolite). Hasilnya, proses koagulasi dan flokulasi mampu menurunkan kandungan *organic* (BOD<sub>5</sub> dan COD) pada kisaran 80%, *Total Suspended Solid* (TSS) 26% dan warna 55%. Sedangkan pada SBR, didapatkan bahwa penambahan adsorben mengoptimalkan pendegradasian kandungan organik. [14] dilakukan menggunakan metode koagulasi dengan aluminium sulfat. Hasilnya dapat menurunkan kandungan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 50.3% dan *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 81% dengan dosis koagulan 1000 mg/l. Dengan metode fotokatalis TiO<sub>2</sub> dapat menurunkan *Chemical Oxygen Demand* (COD) sebesar 50 % dengan waktu paparan 150 menit. [6] melakukan penelitian tentang pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan metode koagulasi. Koagulan yang digunakan antara lain aluminium sulfat, ferrous sulfate dan ferri chloride. Hasil yang diperoleh adalah ferri chloride menjadi koagulan terbaik untuk menurunkan parameter tercemar yaitu chemical oxygen demand, total suspended solid, *turbidity* dan warna. Sedangkan penurunan pH terbaik pada koagulan aluminium sulfat.

Kesimpulan penelitian yang dilakukan [17] bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan biokoagulan chitin cangkang rajungan serta mengetahui dosis optimalnya terhadap nilai kekeruhan, TSS, BOD dan COD limbah cair suatu pabrik farmasi. Kesimpulannya ada penurunan konsentrasi kekeruhan, TSS, BOD dan COD. menyebutkan bahwa biokoagulan chitin cangkang rajungan dan kecepatan pengadukan dapat menurunkan kekeruhan, TSS dan COD.

Tabel.1. Analisa Akhir *Turbidity* (NTU)

| pH  | Kecepatan Pengadukan Proses Koagulasi (rpm) |    |    |               |    |    |               |    |    |
|-----|---------------------------------------------|----|----|---------------|----|----|---------------|----|----|
|     | 100                                         |    |    | 200           |    |    | 300           |    |    |
|     | Koagulan (ml)                               |    |    | Koagulan (ml) |    |    | Koagulan (ml) |    |    |
|     | 5                                           | 10 | 15 | 5             | 10 | 15 | 5             | 10 | 15 |
| 7   | 46                                          | 44 | 41 | 45            | 41 | 38 | 43            | 40 | 37 |
| 7,5 | 42                                          | 40 | 37 | 40            | 37 | 34 | 38            | 36 | 33 |
| 8   | 36                                          | 35 | 32 | 35            | 33 | 30 | 34            | 32 | 29 |
| 8,5 | 30                                          | 30 | 28 | 30            | 28 | 26 | 30            | 27 | 26 |
| 9   | 26                                          | 25 | 24 | 26            | 24 | 22 | 25            | 23 | 22 |
| 9,5 | 22                                          | 21 | 20 | 21            | 20 | 18 | 21            | 19 | 18 |



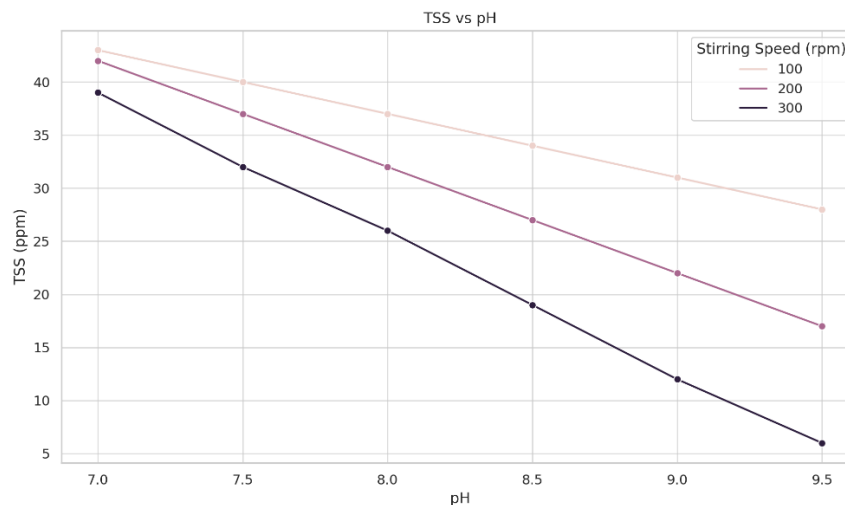
Gambar 2. Hasil Grafik Analisa Akhir *Turbidity*

Pada tabel 1 dan gambar 2 didapatkan analisa akhir *Akhir Turbidity* (NTU) seperti berikut:

- (1) Pengaruh pH: Nilai turbiditas menurun secara signifikan seiring peningkatan pH, dengan penurunan terbesar terjadi pada pH 9,5 (18 NTU). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi basa mendukung destabilisasi partikel koloid.
- (2) Pengaruh Dosis Koagulan: Penambahan koagulan 15 ml menghasilkan turbiditas terendah, mengindikasikan bahwa dosis tinggi meningkatkan efisiensi pengikatan partikel tersuspensi.
- (3) Pengaruh Kecepatan Pengadukan: Kecepatan 300 rpm memberikan hasil optimal, karena energi kinetik tinggi mempercepat kontak antara koagulan dan partikel polutan.

Tabel.2. Analisa Akhir *Total Suspended Solid* (TSS) (ppm)

| pH  | Kecepatan Pengadukan Proses Koagulasi (rpm) |    |    |               |    |    |               |    |    |
|-----|---------------------------------------------|----|----|---------------|----|----|---------------|----|----|
|     | 100                                         |    |    | 200           |    |    | 300           |    |    |
|     | Koagulan (ml)                               |    |    | Koagulan (ml) |    |    | Koagulan (ml) |    |    |
|     | 5                                           | 10 | 15 | 5             | 10 | 15 | 5             | 10 | 15 |
| 7   | 44                                          | 43 | 43 | 43            | 42 | 42 | 41            | 39 | 39 |
| 7,5 | 42                                          | 40 | 40 | 39            | 38 | 37 | 37            | 33 | 32 |
| 8   | 41                                          | 38 | 37 | 36            | 33 | 32 | 30            | 27 | 26 |
| 8,5 | 40                                          | 35 | 34 | 32            | 29 | 27 | 25            | 22 | 19 |
| 9   | 38                                          | 32 | 31 | 28            | 24 | 22 | 19            | 16 | 12 |
| 9,5 | 37                                          | 30 | 28 | 25            | 20 | 17 | 14            | 10 | 6  |



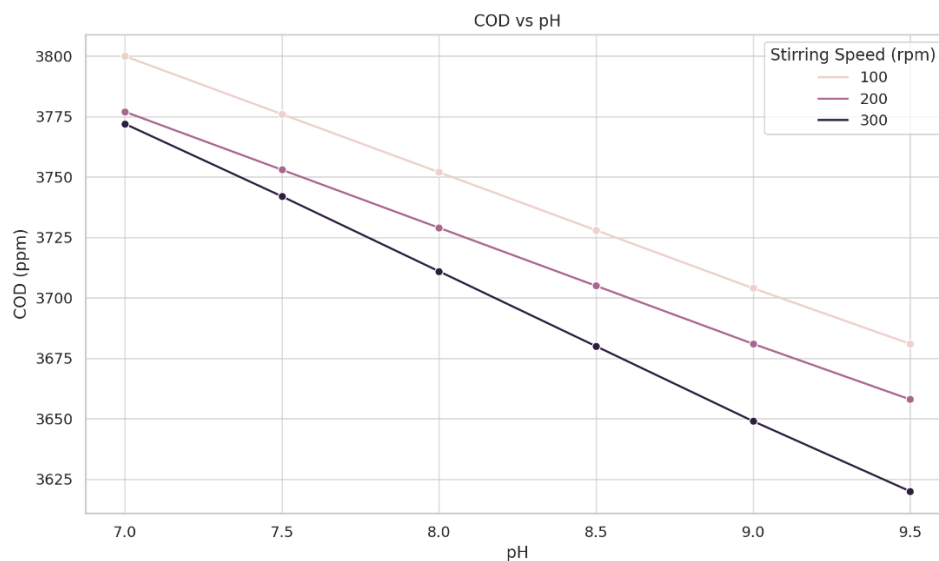
Gambar 3. Hasil Grafik Analisa Akhir *Total Suspended Solid* (TSS) (ppm)

Pada tabel 2 dan gambar 3 didapatkan analisa akhir *Total Suspended Solid* (TSS) (ppm) seperti berikut:

- (1) Pengaruh pH: TSS turun drastis pada pH 9,5 (6 ppm), menunjukkan bahwa kondisi basa meningkatkan agregasi partikel padatan.
- (2) Pengaruh Dosis Koagulan: Dosis 15 ml paling efektif menurunkan TSS, karena koagulan berlebih membentuk flok lebih besar.
- (3) Pengaruh Kecepatan Pengadukan: Kecepatan 300 rpm menghasilkan TSS terendah, karena pengadukan cepat mendistribusikan koagulan secara merata.

Table 3. Analysis Akhir *Chemical Oxygen Demand* (COD) (ppm)

| pH  | Kecepatan Pengadukan Proses Koagulasi (rpm) |      |      |               |      |      |               |      |      |
|-----|---------------------------------------------|------|------|---------------|------|------|---------------|------|------|
|     | 100                                         |      |      | 200           |      |      | 300           |      |      |
|     | Koagulan (ml)                               |      |      | Koagulan (ml) |      |      | Koagulan (ml) |      |      |
|     | 5                                           | 10   | 15   | 5             | 10   | 15   | 5             | 10   | 15   |
| 7   | 3827                                        | 3820 | 3800 | 3819          | 3800 | 3777 | 3818          | 3795 | 3772 |
| 7,5 | 3821                                        | 3796 | 3776 | 3795          | 3775 | 3753 | 3794          | 3771 | 3742 |
| 8   | 3814                                        | 3772 | 3752 | 3771          | 3751 | 3729 | 3770          | 3747 | 3711 |
| 8,5 | 3802                                        | 3748 | 3728 | 3746          | 3727 | 3705 | 3746          | 3723 | 3680 |
| 9   | 3781                                        | 3725 | 3704 | 3722          | 3703 | 3681 | 3722          | 3699 | 3649 |
| 9,5 | 3709                                        | 3701 | 3681 | 3699          | 3680 | 3658 | 3698          | 3675 | 3620 |

Gambar 4. Hasil Grafik Analisa Akhir *Chemical Oxygen Demand* (COD) (ppm)

Pada tabel 3 dan gambar 4 didapatkan analisa akhir *Chemical Oxygen Demand* (COD) (ppm) seperti berikut:

- (1) Pengaruh pH: COD terendah (3620 ppm) dicapai pada pH 9,5, meski penurunan tidak sebesar TSS/turbiditas, menunjukkan bahwa polutan organik lebih stabil.
- (2) Pengaruh Dosis Koagulan: Dosis 15 ml menurunkan COD secara bertahap, tetapi pengaruhnya kurang signifikan dibanding parameter lain.
- (3) Pengaruh Kecepatan Pengadukan: Kecepatan 300 rpm tetap optimal, namun perbedaan nilai COD antar perlakuan relatif kecil.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi kondisi optimal pengolahan air limbah melalui proses koagulasi-flokulasi. Parameter terbaik dicapai pada pH 9,5, dosis koagulan 15 ml, dan kecepatan pengadukan 300 rpm, dengan hasil akhir berupa turbiditas 18 NTU (penurunan 64,7%), TSS 6 ppm (penurunan 87,5%), dan COD 3620 ppm (penurunan 6%). Temuan ini menunjukkan bahwa metode ini lebih efektif dalam mengurangi padatan tersuspensi dibandingkan polutan organik terlarut (COD), yang memerlukan pendekatan tambahan untuk penanganan lebih lanjut.

Untuk implementasi industri, disarankan menggunakan koagulan alternatif seperti PAC

atau biokoagulan untuk efisiensi biaya, diintegrasikan dengan proses biologis seperti activated sludge guna meningkatkan penurunan COD, serta menerapkan sistem kontrol otomatis untuk pH dan pengadukan. Pengolahan lanjutan dengan filtrasi atau adsorpsi karbon aktif dapat menyisihkan polutan mikro. Penelitian mendatang perlu mengevaluasi toksisitas lumpur koagulasi dan pengaruh variasi suhu terhadap kinerja proses untuk pengembangan sistem yang lebih berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apriani, N., & Said, R. W. (2022). Upaya Perlindungan Hukum Terhadap Industri Usaha Mikro Kecil dan Menengah (UMKM) di Indonesia. *Jurnal Al Azhar Indonesia Seri Ilmu Sosial*, 03, 2745–5939. <https://doi.org/10.36722/jaiss.v%vi%i.1069>
- [2] Astuti, N. Y., & Islam, I. (2024). Pengaruh Biji Pepaya Sebagai Koagulan Terhadap Limbah Cair Industri Tahu di Kota Mataram. *Biomaras, Journal of Life Science And Technology*, 2(2), 1–8.
- [3] Dwidewitra, R. P., Huda, M., & Rachmanto, T. A. (2024). Analisis Pengaruh Sisa Klor Terhadap Air Distribusi PDAM Surya Sembada IPAM Karang Pilang 3 Kota Surabaya. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*, 3(2), 215–220.
- [4] Ekoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2024). Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. *Jurnal Serambi Engineering*, 11(1).
- [5] Faridah, H. N., Mijani, R., Arida, F. N., & Siti, A. (2021). Effectiveness Of Chitosan To Reduce The Color Value, Turbidity, And Total Dissolved Solid In Shrimp-Washing Waste Water. *Russian Journal Of Agricultural And Sosio-Economic Sciences*, 115(7).
- [6] Fatoni, I., Subiantoro, R., & Maryanti. (2020). Pengaruh Penggunaan Berbagai Koagulan Kimia Pada Limbah Cair Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq) Terhadap Penurunan Beban Pencemar. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 17(2).
- [7] Hidayati, N., Setiawan, A., Afiuddin, A. E., & Yulianto, E. (2018). Pengaruh Dosis Koagulan-Flokulan Dalam Menurunkan Kandungan Zinc Dan Fosfat Di Waste Water Treatment Plant (WWTP) PT POMI. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*.
- [8] Hutabarat, D. M., Witasari, W. S., & Baskoro, R. (2022). Pengaruh Jenis Koagulan dan Variasi pH Terhadap Kualitas Limbah Cair di Instalasi Pengolahan Air Limbah PT Kawasan Industri Intiland. *Distilat*, 8(3).
- [9] Kusniawati, E., Sari, D. K., & Putri, M. K. (2023). Pemanfaatan Sekam Padi Sebagai Karbon Aktif Untuk Menurunkan Kadar pH, Turbidity, TSS dan TDS. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 10(2).
- [10] Mayasari, R., Hastarina, M., & Apriyani, E. (2019). Analisis Turbidity Terhadap Dosis Koagulan Dengan Metode Regresi Linear (Studi kasus di PDAM Tirta Musi Palembang). *JISI, Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 6(2).
- [11] Mu'arifah, Z. Z., & Suliantoro, H. (2023). Analisis Pengaruh pH dan Turbidity Air Baku Terhadap Penentuan Dosis Optimum Koagulan Pada IPA Kaligarang IV PDAM Tirta Moedal Semarang. *Industrial Engineering Online Journal*, 12(4).
- [12] Novirina Hendrasari, Kokoh H., R., R. F., & Andika. (2021). Kombinasi Proses Koagulasi-Flokulasi Dengan Sequencing Batch Reactor Untuk menurunkan Kandungan Organik Pada Limbah Batik. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 7(2), 131–139.
- [13] Nurhayati, & Anjaswati, S. G. (2022). Cangkang Kepiting Rajungan (*Portunus*

- Pelagicus) Sebagai Koagulan Untuk Pengolahan Limbah Cair. *Metrik Serial Humaniora Dan Sains*, 3(2).
- [14] Pebritama, E. R., & Agung, T. (2021). Degradasi Limbah Tahu Dengan Koagulasi-Flokulasi Aluminium Sulfat Dan Fotokatalis TiO<sub>2</sub> Dalam Tangki Berpengaduk. *Jurnal Envirous, Teknik Lingkungan*, 2(1).
- [15] Sari, P. S., & Sa'diyah, K. (2024). Pengaruh Rasio Penambahan Koagulan PAC Pada Pengolahan Limbah Cair Pusat Perbelanjaan Secara Koagulasi-Flokulasi. *Distilat*, 10(1), 205–218.
- [16] S.W., , Racmawati Rachmawati, Iswanto, B., & Winarni. (2009). Pengaruh pH Pada Proses Koagulasi Dengan Koagulan Aluminium Sulfat Dan Ferri Khlorida. *Jurnal Teknik Lingkungan JTL*, 5(2).
- [17] Wardhani, W. K., Hadiwidodo, M., & Sudarno. (2014). Khitin Cangkang Rajungan (Portunus Pelagicus) Sebagai Bikoagulan Untuk Penyisihan Turbidity, TSS, BOD dan COD Pada Pengolahan Air Limbah Farmasi PT. Phapros Tbk, Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(4).
- [18] Wathoni, A. Z., Ulfindrayani, I. F., & Hidayat, K. (2021). Pengaruh Penambahan Flokulan Dan Koagulan Menggunakan Metode Jar Test terhadap Kualitas Air Baku. *Jurnal Industry Xplore*, 5(2).