

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang dan Masalah

Menurut Laporan Statistik Lingkungan Hidup Indonesia tahun 2020, sekitar 57,42% air limbah cair *greywater* dibuang ke sungai atau saluran air. Selain itu, sebagian penduduk Indonesia juga membuang air limbah *greywater* ke lubang tanah sebesar 18,71%, sementara sekitar 10,26% membuangnya ke septik tank, 1,67% membuang ke sumur resapan, dan hanya 1,28% membuangnya ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Kadar zat organik karbon dan nutrisi dalam air limbah *greywater* cenderung lebih rendah dibandingkan dengan air limbah *blackwater*, namun produksi volume limbahnya jauh lebih besar. Rata-rata volume produksi limbah *greywater* per kapita (per orang) di rumah tangga mencapai 310 L/kapita/hari. Sebagian besar aktivitas rumah tangga/domestik, yaitu sekitar 70-80%, dapat menyebabkan pencemaran pada badan air. Hal ini dapat mengakibatkan menurunnya kadar oksigen dalam badan air secara signifikan, meningkatnya tingkat turbiditas atau kekeruhan air, eutrofikasi, total padatan tersuspensi, serta kontaminasi bakteri maupun kontaminasi kimia, yang berkontribusi pada kondisi sanitasi yang buruk (Nurul *et al.*, 2022). Selain itu, limbah *greywater* yang tercemar dapat menimbulkan bahaya kesehatan bagi masyarakat di sekitarnya, seperti kolera, disentri, dan berbagai penyakit lainnya. Kondisi tersebut bahkan dapat mengakibatkan kematian pada ikan yang hidup di dalamnya (E. Suoth & Nazir, 2015).

Salah satu pengolahan kimia yang umum digunakan dalam pengolahan limbah adalah dengan menggunakan proses koagulasi dan flokulasi. Proses koagulasi adalah penyerapan partikel koloid oleh koagulan untuk mendestabilisasi partikel dan membentuk flok dalam air limbah. Sementara itu, proses flokulasi adalah pengumpulan partikel flok mikro yang membentuk aglomerasi besar melalui pengadukan fisis (Madeleine, 2020).

Dalam upaya pengolahan air koagulan sering digunakan untuk menurunkan partikel yang menyebabkan kekeruhan. Salah satu jenis koagulan yang banyak digunakan adalah *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Penggunaan PAC memiliki beberapa keuntungan seperti korosivitas yang rendah, mudah dipisahkan dan pH air

hasil pengolahan tidak terlalu rendah (Selintung *et al.*, 2018). Berbagai senyawa polimer digunakan sebagai flokulan dalam pengolahan air, terdapat dua jenis polimer yaitu polimer sintetis dan polimer alami. Salah satu jenis polimer sintetis yang sering digunakan sebagai flokulan adalah *Polyacrylamide* (PAM), yang memiliki beberapa karakteristik seperti sulit terurai secara biologi, membentuk flok yang mudah hancur terhadap gaya geser, dosis penggunaan rendah, dan memiliki umur simpan yang lama (Purwanto, 2013).

TSS banyak berasal dari limbah rumah tangga, industri, dan pertanian. Peningkatan TSS akan meningkatkan kekeruhan air dan menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam kolom perairan, sehingga menghambat pertumbuhan fitoplankton. Penyusupan sinar atau cahaya ke dalam air juga dapat terhambat oleh padatan tersuspensi, yang dapat mempengaruhi regenerasi oksigen melalui fotosintesis (Kamajaya *et al.*, 2021).

Penelitian yang telah dilakukan oleh (Xu *et al.*, 2023) memperoleh hasil optimasi koagulasi menggunakan PAC dan flokulasi menggunakan PAM dengan dosis 40 ppm dan 4 ppm, kecepatan pengadukan koagulasi 300 rpm selama 2 menit, kecepatan pengadukan flokulasi 100 rpm selama 15 menit dan pengendapan 10 menit mendapatkan efektivitas reduksi TSS sebesar 97,84 % pada sampel *Anaerobic Digestion Reject Water* dengan metode *Jar Test* dan RSM. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh (Widiyanti *et al.*, 2019) melakukan optimasi koagulasi dengan koagulan aluminium sulfat dan poly *Poly Aluminium Chloride* (PAC) (1:1) untuk mereduksi TSS air sungai tello dengan dosis sebesar 50 ppm, pengadukan cepat (koagulasi) dengan kecepatan pengadukan 350 rpm selama 1 menit, pengadukan lambat (flokulasi) dengan kecepatan pengadukan 50 rpm selama 20 menit, dan pengendapan selama 30 menit dengan metode gravimetri mendapatkan hasil dalam mereduksi TSS sebesar 98,20%.

Berdasarkan latar belakang tersebut penggunaan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) sebagai koagulan dan *Polyacrylamide* (PAM) sebagai flokulan menggunakan metode *Jar Test* dapat mereduksi TSS pada Limbah *greywater* dengan memvariasikan volume PAC dan PAM dan waktu menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan model *Box-Behnken Design* untuk menentukan variabel rancangan yang akan dilakukan. Selain itu, jenis air limbah

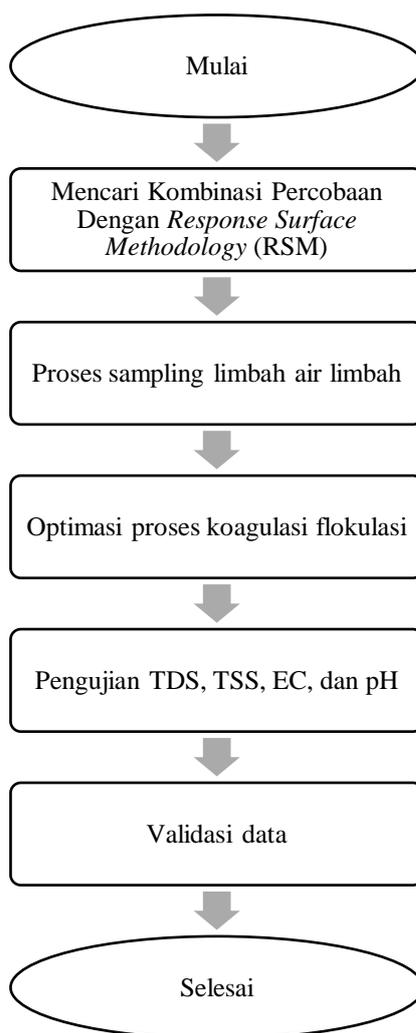
*greywater* dapat menyebabkan masalah pada lingkungan. Kadar TSS yang tinggi dapat menghalangi masuknya sinar matahari yang mengakibatkan turunnya oksigen terlarut yang dapat mengganggu ekosistem di dalam air, maka penelitian ini akan menggunakan proses koagulasi dan flokulasi dalam mereduksi TSS pada limbah *greywater* dengan mengoptimisasikan penggunaan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) sebagai koagulan dan *Polyacrylamide* (PAM) sebagai flokulan menggunakan metode *Jar test* dan *Respon Surface Methodology* (RSM) untuk menentukan kadar optimum pada *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan *Polyacrylamide* (PAM) dalam menyelesaikan masalah mereduksi TSS pada air limbah *greywater* sesuai dengan baku mutu air limbah.

## **1.2 Tujuan**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi optimum serta analisis biaya dari penggunaan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan *Polyacrylamide* (PAM) dengan dosis 60 ppm pada proses koagulasi-flokulasi dalam mereduksi *Total Suspended Solids* (TSS) pada limbah *greywater* dengan metode pengujian *Jar Test* dan optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM).

## **1.3 Kerangka Pemikiran**

Untuk mencegah dampak negatif limbah *greywater* terhadap lingkungan, diperlukan penanganan limbah tersebut untuk mengurangi kadar bahan kimia yang terkandung di dalamnya. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Jar Test* dengan melakukan proses koagulasi flokulasi dan dalam menentukan kombinasi percobaan menggunakan *Response Surface Mtehodology* (RSM). Penelitian ini dapat mereduksi TSS dalam limbah *greywater* melalui beberapa tahap, mulai dari persiapan bahan baku hingga hasil akhir berupa reduksi TSS limbah *greywater* dan optimasi pada bahan koagulan dan flokulan yang digunakan. Skema penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pelaksanaan penelitian

#### 1.4 Hipotesis

Pada penelitian ini digunakan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) sebagai koagulan dan *Polyacrylamide* (PAM) sebagai flokulan dalam mereduksi *Total Suspended Solids* (TSS) dengan metode pengujian yang mengacu pada standar SNI 19-6449-2000 menggunakan metode *Jar Test* dan *Respon Surface Methodology* (RSM) sebagai rancangan percobaan optimasi. Dengan pengujian ini akan mendapatkan kondisi optimum pada koagulan dan flokulan dengan dosis 60 ppm serta waktu koagulasi-flokulasi dalam mereduksi *Total Suspended Solids* (TSS) pada limbah *greywater*.

#### 1.5 Kontribusi

Penelitian ini dapat memberikan kontribusi yaitu sebagai alternatif bahan pengolahan limbah *greywater* untuk menentukan volume optimum dari

penggunaan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan flokulan *Polyacrylamide* (PAM) dengan dosis 60 ppm serta waktu koagulasi-flokulasi dalam mereduksi *Total Suspended Solids* (TSS) pada limbah *greywater*. *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dan *Polyacrylamide* (PAM) selain digunakan dalam pengolahan limbah *greywater* juga dapat digunakan dalam pengolahan limbah yang lebih luas yaitu limbah industri, pertanian, perikanan, dan pengolahan air minum.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Greywater*

Limbah *greywater* merupakan hasil dari aktivitas rumah tangga yang umumnya mengandung bahan organik dan dapat mencapai 80% dari total volume limbah cair. *Greywater* umumnya berasal dari kegiatan seperti memasak, mandi, dan mencuci. Pencemaran air sungai sering terjadi karena kontaminasi oleh limbah *greywater*, yang dapat membahayakan lingkungan dan organisme hidup di dalamnya. Diperkirakan bahwa limbah rumah tangga merupakan penyumbang utama, yakni sekitar 60-70% dari total pencemaran air sungai (Febry, 2020). *Greywater* mengandung berbagai macam bahan organik seperti deterjen, sabun, kosmetik, dan sisa-sisa sel kulit mati. Selain itu, *greywater* juga mengandung nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk untuk tanaman. Meskipun demikian, kadar bahan-bahan tersebut dapat bervariasi tergantung pada sumbernya, seperti *greywater* yang berasal dari dapur cenderung mengandung lebih banyak lemak dan minyak dibandingkan dengan *greywater* dari kamar mandi atau mesin cuci (Murthy *et al.*, 2016).

*Greywater* dapat mengandung berbagai jenis mikroorganisme patogen seperti bakteri, virus, dan parasit yang berasal dari tinja manusia, deterjen, dan sisa makanan. Selain itu, kandungan nutrisi dan zat organik dalam *greywater* dapat memicu pertumbuhan alga dan tanaman air yang berlebihan, mengurangi kandungan oksigen dalam air, dan menyebabkan dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia jika tidak dikelola dengan baik (Nurhidayanti *et al.*, 2022). Air limbah rumah tangga atau *greywater* dapat diolah menjadi air yang aman dan dapat digunakan kembali dengan memanfaatkan teknologi pengolahan air sederhana seperti sistem filter pasir, sistem penjernihan air bertingkat, atau teknologi biofilter. Melalui pengolahan tersebut, *greywater* dapat diubah menjadi air yang dapat digunakan kembali, sehingga dapat mengurangi konsumsi air bersih dan limbah cair yang dihasilkan oleh rumah tangga. Berikut adalah karakteristik limbah *greywater* yang diambil pada suatu perumahan yang ada di daerah pesawaran yang akan digunakan pada penelitian dapat dilihat pada tabel 1:

Tabel 1. Karakteristik limbah *greywater*

No	Analisis	Kadar	Satuan
1	TDS	498	ppm
2	TSS	98	ppm
3	<i>Salinity</i>	0,05	%
4	EC	1000	$\mu\text{s/cm}$
5	pH	5,45	-
6	Suhu	30,2	$^{\circ}\text{C}$

## 2.2 Konsep Koagulasi-Flokulasi

Koagulasi adalah sebuah teknik pengolahan air limbah yang bertujuan untuk mengendapkan partikel koloid dengan cara membuat partikel tersebut tidak stabil, sedangkan flokulasi merupakan tahapan selanjutnya dari proses koagulasi di mana partikel yang telah terdestabilisasi akan digabungkan menjadi partikel yang lebih besar. Berbagai faktor seperti jenis koagulan yang digunakan, dosis koagulan, pH, dan kecepatan pengadukan juga mempengaruhi efektivitas dari teknik koagulasi-flokulasi. Pada proses koagulasi-flokulasi, diperlukan penambahan koagulan yang berfungsi untuk membantu partikel mengendap. Koagulan akan membentuk partikel-partikel yang lebih besar, yang dikenal sebagai flok, yang kemudian dapat diendapkan (Martina *et al.*, 2018).

Terdapat dua jenis koagulan yaitu koagulan kimia dan koagulan alami. Koagulan kimia menggunakan bahan-bahan kimia yang umumnya mengandung logam, sedangkan pada saat ini, pengembangan penelitian lebih difokuskan pada pembuatan dan penggunaan koagulan alami yang bersumber dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui seperti tanaman, hewan, atau bahkan dari mikroorganisme (Martina *et al.*, 2018).

Menurut (Akbar, 2020) Dalam proses koagulasi-flokulasi, terdapat dua tahap yang harus dilalui, yaitu:

### 1. Proses pengadukan cepat

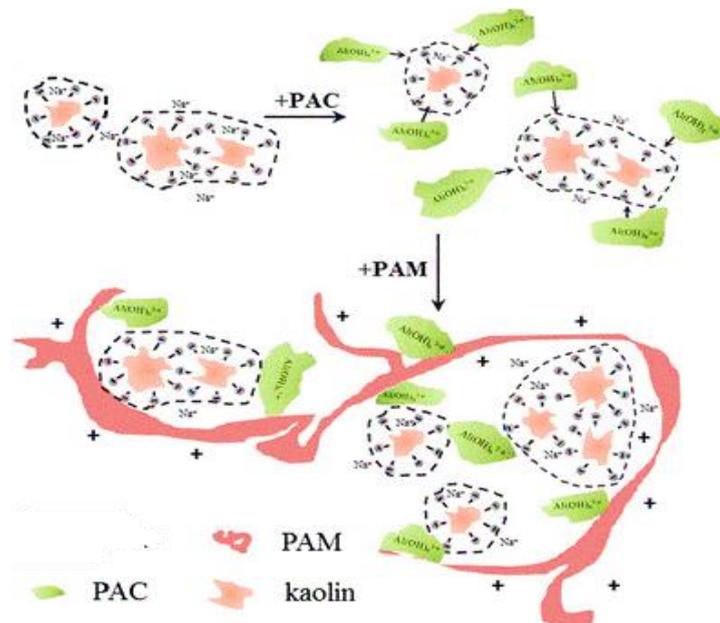
Proses pengadukan cepat bertujuan untuk mencampurkan koagulan dengan air limbah secara merata untuk menciptakan campuran homogen. Dalam air limbah, partikel dan molekul dengan muatan negatif seperti koloid akan bereaksi dengan molekul dan ion yang bermuatan positif dari koagulan.

Proses pengadukan cepat membutuhkan kekuatan dan waktu yang cukup singkat karena hidrolisis dan destabilisasi partikel terjadi dengan cepat. Waktu pengadukan yang diperlukan adalah sekitar 1-5 menit, dan gradien kecepataannya harus lebih besar dari 300 detik.

## 2. Proses pengadukan lambat

Dalam pengolahan air, pengadukan lambat dilakukan untuk meningkatkan ukuran partikel flokulan agar menjadi lebih besar dan berat. Hal ini dilakukan untuk mempercepat proses pengendapan partikel dan membersihkan air dari kotoran dan partikel yang tidak diinginkan. Waktu yang diperlukan untuk pengadukan lambat biasanya antara 10-30 menit dengan gradien kecepatan sekitar 5-100 det-1. Dalam pengadukan lambat, pengadukan dilakukan dengan kecepatan yang lebih rendah agar flokulasi dapat terjadi secara optimum tanpa merusak partikel flokulan yang sudah terbentuk.

Adapun pada proses koagulasi-flokulasi dengan PAC dan PAM akan membentuk reaksi sebagai berikut :



Gambar 2. Reaksi penambahan PAC dan PAM pada limbah *greywater* (Li *et al.*, 2018)

### 2.1.1 Proses Koagulasi

Proses koagulasi melibatkan pencampuran koagulan dengan pengadukan cepat untuk menstabilkan koloid dan partikel padat yang tersuspensi dan halus serta massa inti partikel, sehingga membentuk mikro-flok (Rahimah *et al.*, 2016).

Koagulasi bertujuan untuk mengubah partikel padatan di dalam air baku yang sebelumnya tidak dapat mengendap menjadi mudah untuk mengendap. Proses koagulasi terjadi karena campuran koagulan dengan air baku yang menyebabkan partikel padatan dengan padatan ringan dan ukuran kecil menjadi lebih berat dan ukurannya menjadi besar (flok), sehingga mudah untuk mengendap (Akbar, 2020).

Proses Koagulasi dilakukan dengan cara mencampurkan koagulan dengan air baku dan menghasilkan muatan netral. Prinsipnya adalah bahwa dalam air baku terdapat partikel padatan yang kebanyakan bermuatan listrik negatif. Karena partikel-partikel ini saling menolak satu sama lain, mereka tetap terdispersi sebagai koloid dalam air. Untuk menetralkan muatan negatif partikel, koagulan bermuatan positif ditambahkan ke dalam air baku dan dicampurkan dengan cepat (Akbar, 2020).

Menurut (Rahimah *et al.*, 2016) berikut adalah faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi :

1. Suhu air

Efisiensi proses koagulasi dipengaruhi oleh suhu air yang rendah. Jika suhu air menurun, daerah pH yang ideal dalam proses koagulasi akan berubah, sehingga memengaruhi jumlah dosis koagulan yang digunakan.

2. Derajat Keasaman (pH)

Proses koagulasi membutuhkan kondisi pH yang ideal agar dapat berjalan dengan efektif. Setiap jenis koagulan memiliki pH optimum yang berbeda-beda.

3. Jenis Koagulan

Jenis koagulan dipilih berdasarkan pertimbangan efisiensi dan biaya dalam pembentukan flok. Koagulan dalam bentuk larutan cenderung lebih efektif daripada koagulan dalam bentuk serbuk atau butiran.

4. Kadar ion terlarut

Proses koagulasi dipengaruhi oleh ion-ion yang terlarut dalam air, di mana pengaruh anion lebih besar daripada kation. Oleh karena itu, ion-ion natrium, kalsium, dan magnesium tidak berpengaruh signifikan pada proses koagulasi.

5. Tingkat kekeruhan

Pada tingkat kekeruhan yang rendah, destabilisasi menjadi sulit terjadi, sedangkan pada tingkat kekeruhan yang tinggi, proses destabilisasi terjadi dengan cepat. Namun, jika dosis koagulan yang rendah digunakan pada kondisi ini, pembentukan flok akan kurang efektif.

6. Dosis koagulan

Pembentukan inti flok yang baik dalam proses koagulasi dan flokulasi sangat tergantung pada dosis koagulan yang digunakan. Jika dosis koagulan yang diberikan sesuai dengan kebutuhan, maka pembentukan inti flok akan berjalan dengan baik.

7. Kecepatan pengadukan

Tujuan dari pengadukan dalam proses koagulasi adalah untuk mencampurkan koagulan ke dalam air. Dalam proses pengadukan, hal-hal yang perlu diperhatikan adalah pengadukan harus dilakukan secara merata sehingga koagulan yang ditambahkan dapat bereaksi dengan partikel atau ion yang terdapat dalam air. Kecepatan pengadukan juga berpengaruh terhadap pembentukan flok, jika pengadukan terlalu lambat, flok terbentuk secara perlahan, sedangkan jika pengadukan terlalu cepat, flok yang terbentuk dapat pecah.

8. Alkalinitas

Alkalinitas dalam air dapat diukur dari kadar asam atau basa yang terdapat dalam air. Kadar alkalinitas dalam air dapat membantu pembentukan flok dengan memperoleh ion hidroksida yang dihasilkan dari reaksi hidrolisis koagulan.

### **2.1.2 Proses Flokulasi**

Flokulasi adalah proses pengadukan perlahan yang bertujuan untuk membentuk flok yang lebih besar dari partikel-partikel yang terdispersi di dalam air. Flok yang lebih besar kemudian akan mengendap lebih cepat.

Flokulasi adalah proses menghilangkan kekeruhan pada air melalui penggabungan partikel-partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar. Kecepatan terbentuknya flok sangat dipengaruhi oleh gaya antarmolekul yang diperoleh dari pengadukan. Pengadukan yang lambat sangat penting dalam memastikan keberhasilan proses flokulasi, karena memberikan kesempatan pada partikel untuk

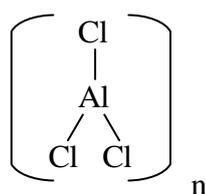
berkontak dan bergabung membentuk flok yang lebih besar. Pengadukan lambat dilakukan secara hati-hati untuk mencegah flok yang sudah terbentuk dari pecah melalui pengadukan dengan kecepatan tinggi (Akbar, 2020).

Menurut (Rahimah *et al.*, 2016), terdapat dua jenis proses flokulasi, yaitu:

1. Flokulasi perikinetik adalah proses flokulasi yang diakibatkan oleh gerak Brownian, yaitu gerakan acak partikel-partikel koloid yang disebabkan oleh tumbukan molekul-molekul air. Proses ini menghasilkan gabungan antara partikel yang sangat kecil, kurang dari 100 milimikron (Rahimah *et al.*, 2016).
2. Flokulasi orthokinetik adalah suatu proses pembentukan flok yang terjadi karena gerakan media seperti pengadukan pada air (Rahimah *et al.*, 2016). Umumnya, kecepatan aliran cairan akan mengalami perubahan terhadap tempat dan waktu, yang disebut sebagai gradien kecepatan dengan notasi G. Adanya perbedaan kecepatan aliran media cair akan menyebabkan variasi kecepatan aliran yang berbeda-beda, sehingga mempengaruhi terbentuknya flok.

## 2.2 *Poly Aluminium Chloride (PAC)*

*Poly Aluminium Chloride (PAC)* adalah senyawa polimer aluminium dengan kandungan klorida yang mirip dengan tawas. Rumus kimia umum PAC adalah  $Al_nCl_{(3n-m)}(OH)_m$ . Di antara jenis PAC yang umum digunakan dalam pengolahan air adalah  $Al_{12}Cl_{12}(OH)_{24}$ . PAC memiliki kemampuan koagulasi yang kuat dan sangat cocok digunakan dalam pengolahan limbah. Selain itu, PAC efektif bekerja dalam rentang pH yang luas, mudah dioperasikan, dan memiliki biaya yang terjangkau. Namun, PAC sedikit mempengaruhi pH dan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan koagulan lainnya (Kartika, 2015).



Gambar 3. Struktur *Poly Aluminium Chloride*

*Poly Aluminium Chloride* merupakan senyawa kompleks anorganik yang terdiri dari ion hidrosil dan ion aluminium yang mengalami proses klorinasi. Penggunaan PAC telah sangat umum sebagai flokulan pada air, limbah industri,

dan beberapa program koagulasi-flokulasi lainnya. Hal ini dikarenakan PAC memiliki muatan positif yang sangat tinggi sehingga mampu mengikat agregat dengan kuat. Beberapa keunggulan PAC antara lain efektif untuk menghilangkan kekeruhan dan warna, memadatkan dan menghentikan penguraian flok, membutuhkan kebasaaan rendah untuk hidrolisis, tidak menyebabkan keruh ketika digunakan dalam jumlah yang berlebihan, serta memiliki sedikit pengaruh terhadap pH (Akbar, 2020).

Menurut (Kartika, 2015) Beberapa keunggulan yang dimiliki PAC antara lain :

1. PAC memiliki kemampuan untuk bekerja secara efektif pada rentang pH yang luas, sehingga tidak memerlukan penyesuaian pH kecuali untuk jenis air tertentu.
2. Dengan dosis yang memadai, belerang dapat mengoksidasi senyawa karboksilat berantai siklik sehingga terbentuk gugus rantai hidrokarbon alifatik yang lebih pendek dan sederhana, yang kemudian dapat membentuk flok dengan lebih mudah.
3. Dalam fasa cair yang bermuatan negatif, kadar klorida yang tepat akan mengakibatkan reaksi yang cepat dan menghancurkan ikatan zat organik, khususnya ikatan karbon nitrogen yang umumnya membentuk makromolekul seperti protein, amina, amida, minyak, dan lipida dalam struktur ekuatorial.
4. PAC tidak akan menyebabkan kekeruhan air meskipun digunakan dalam dosis berlebihan, sedangkan koagulan lainnya seperti aluminium sulfat, besi klorida, dan ferro sulfat dapat menyebabkan peningkatan kekeruhan pada air yang sebelumnya jernih jika dosisnya terlalu tinggi. Jika diplotkan dalam grafik perbandingan aktual vs prediksi, penggunaan PAC akan menghasilkan garis linear, yang artinya kekeruhan air yang dihasilkan akan relatif sama dengan dosis optimum bahkan jika terjadi overdosis, sehingga dapat menghemat penggunaan bahan kimia. Sebaliknya, koagulan selain PAC akan menghasilkan grafik parabola terbuka, yang berarti jika dosisnya terlalu banyak atau terlalu sedikit, akan meningkatkan kekeruhan air yang dihasilkan, sehingga diperlukan ketepatan dalam dosisnya.
5. PAC memiliki suatu polimer khusus dengan struktur polielektrolit yang dapat mengurangi atau bahkan tidak memerlukan bahan bantu tambahan selama

penggunaannya, hal ini berarti selain menjadi lebih sederhana, juga dapat menghemat biaya untuk proses penjernihan air.

6. Bila kandungan basa cukup, jumlah gugus hidroksil dalam air akan meningkat dan pH dapat lebih stabil, sehingga penggunaan bahan untuk menetralkan pH dapat dikurangi.
7. PAC dapat membentuk flok lebih cepat dibandingkan dengan koagulan biasa karena memiliki gugus aktif aluminat yang mampu efektif mengikat koloid, serta didukung oleh rantai polimer dari gugus polielektrolite sehingga flok yang terbentuk menjadi lebih padat. Penambahan gugus hidroksil ke dalam rantai koloid yang semula hidrofobik dapat meningkatkan berat molekul. Hal ini berarti bahwa kapasitas produksi PAC relatif tidak akan terpengaruh, meskipun ukuran kolam pengendapan lebih kecil atau terjadi over-load di instalasi yang ada.

*Poly Aluminium Chloride* mempunyai kemampuan untuk membentuk flok lebih cepat dibandingkan dengan koagulan lainnya. Hal ini disebabkan oleh adanya gugus aktif aluminat yang efektif dalam mengikat koloid, yang diperkuat oleh rantai polimer gugus polielektrolit sehingga flok yang dihasilkan menjadi lebih padat. Ketika PAC dilarutkan dalam air, ia terdisosiasi melepaskan ion  $Al^{3+}$ , yang kemudian menurunkan zeta potensial dari partikel. Dampak dari penurunan ini adalah gaya tolak-menolak antar partikel berkurang, sehingga terjadi penggabungan partikel-partikel untuk membentuk flok yang lebih besar (Akbar, 2020).

PAC umumnya dapat digunakan untuk tujuan apa pun di mana efektivitas dan kekuatan flokulasi diperlukan, baik untuk pengolahan air sungai perkotaan maupun industri, pengolahan air permukaan, pengolahan limbah industri, dan proses daur ulang. Dalam semua program ini, PAC dapat digunakan dengan menambahkan larutan yang murni atau diencerkan pada air baku, diikuti dengan pengadukan dalam unit pengolahan. Hasil pengolahan yang memuaskan dapat diperoleh, meskipun kondisi agitasi tetap sama. PAC memiliki kecepatan pembentukan flok yang lebih tinggi dibandingkan aluminium sulfat, sehingga waktu pengadukan yang dibutuhkan juga lebih singkat. Dosis koagulan harus disesuaikan dengan kualitas air baku dan dilakukan pengujian Jart Test atau metode serupa untuk menentukan dosis koagulan optimum (Akbar, 2020).

Berikut adalah baku mutu PAC berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang dapat dilihat pada tabel 2 :

Tabel 2. Baku mutu PAC

Jenis Uji	Persyaratan		
	Satuan	Serbuk	Cair
Bobot Jenis	Gram/ml	1,99 - 1,25	-
Aluminium Oksida (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	10,0 - 11,0	30,0 - 33,0
Klorida (Cl)	%	8,5 - 9,5	25,5 - 28,5
Ph (1% larutan b/v)	-	3,5 - 5,0	3,5 - 5,0

Sumber : Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3822-1995

Dalam penggunaannya sebagai koagulan, PAC (*Polyaluminium Chloride*) juga memiliki kemampuan untuk menghilangkan warna dalam air. Semakin tinggi dosis PAC yang digunakan, maka semakin efektif dalam menghilangkan warna. Salah satu keunggulan PAC sebagai koagulan adalah kemampuannya untuk menghasilkan flok yang kuat dalam air dengan dosis yang lebih rendah, bahkan dalam berbagai rentang pH, tanpa memerlukan perhatian terhadap tingkat alkalinitas yang ada. (Akbar, 2020).

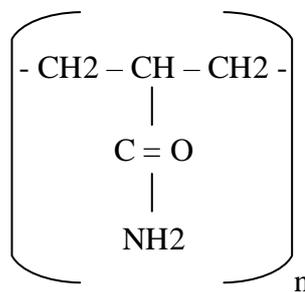
### 2.3 *Polyacrylamide* (PAM)

*Polyacrylamide* (PAM) adalah senyawa polimer sintetis dan memiliki rumus kimia C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>NO yang sering dimanfaatkan sebagai agen flokulasi dalam pengolahan air dan program pertanian. Fungsi PAM dalam pengolahan air adalah untuk membantu mengurangi kandungan zat padat dalam air limbah dan memfasilitasi proses pengolahan selanjutnya. Selain itu, PAM juga berguna dalam program pertanian untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan efisiensi penggunaan air. Penggunaan PAM dalam pengolahan air telah dikembangkan melalui beberapa penelitian, yang membuktikan bahwa penggunaannya dapat meningkatkan efisiensi dalam mengurangi kandungan TSS dalam air limbah. PAM juga dapat digunakan bersama-sama dengan koagulan kimia lainnya, seperti *Poly Aluminium Chloride* (PAC), untuk meningkatkan efisiensi dalam proses koagulasi-flokulasi (Zhang *et al.*, 2022). Berikut adalah beberapa keunggulan yang dimiliki PAM :

1. Peningkatan kecepatan pengendapan flok pada proses flokulasi dapat mempercepat waktu pengolahan air limbah.

2. Partikel-partikel kecil dapat lebih efektif mengendap dan pemisahan padatan dan cairan menjadi lebih mudah pada proses pengolahan air limbah.
3. Keberadaan bahan flokulasi dapat meningkatkan kekuatan dan stabilitas flok, sehingga hasil pengendapan menjadi lebih padat dan mudah dipisahkan dari air limbah.
4. Efisiensi pengendapan partikel-partikel koloid dan partikel-partikel kecil meningkatkan kualitas air limbah dengan mengurangi kandungan TSS.
5. Aglomerasi partikel-partikel pada air limbah bisa lebih mudah dilakukan sehingga proses pengendapan dan penyaringan jadi lebih terbantu.
6. Kondisi yang sulit seperti pH yang rendah dan suhu yang tinggi bisa diatasi dengan efisiensi pengendapan yang meningkat.
7. Bahan flokulasi ini lebih efektif daripada bahan flokulasi lainnya dalam menurunkan kandungan TSS pada air limbah.
8. Bahan flokulasi ini dapat menghasilkan flok yang lebih besar dan padat dibandingkan dengan bahan flokulasi lainnya.
9. Bahan flokulasi ini aman digunakan pada pengolahan air limbah dan air minum karena tidak bersifat toksik.
10. Bahan flokulasi ini dapat terurai secara alami sehingga tidak meninggalkan residu berbahaya pada lingkungan.

Berikut adalah struktur Polyacylamid (PAM) yang dapat dilihat pada gambar 4 :



Gambar 4. Struktur *Polyacrylamide* (PAM)

#### 2.4 *Total Suspended Solids* (TSS)

TSS (*Total Suspended Solids*) merujuk pada jumlah padatan yang terlarut dalam air dan diukur dengan cara memfilter massa padatan dengan ukuran filter tertentu. Sumber dari padatan terlarut tersebut bisa berasal dari limbah industri, domestik, atau alami seperti lumpur, tanah, dan sisa-sisa tumbuhan (*Tchobanoglous*

*et al.*, 2014). TSS merupakan elemen penting dalam penilaian kualitas air karena memiliki potensi untuk memengaruhi transparansi air serta konsentrasi oksigen yang dapat terlarut dalamnya. Kandungan TSS yang tinggi dalam air dapat mengurangi transparansi dan menyerap cahaya matahari, sehingga dapat menghambat pertumbuhan organisme akuatik dan memengaruhi kualitas lingkungan akuatik. Selain itu, TSS juga dapat mengendap pada dasar sungai atau danau dan mengurangi kandungan oksigen terlarut di dalam air (Chen *et al.*, 2019). Pengurangan TSS dalam air dapat dilakukan dengan berbagai metode, termasuk penggunaan proses koagulasi-flokulasi. Proses tersebut melibatkan penambahan bahan kimia koagulan (seperti PAC) dan flokulan (seperti PAM) ke dalam air limbah untuk membantu pengendapan dan pemisahan padatan dari air. Metode *Jar Test* dapat digunakan untuk menentukan dosis bahan kimia yang optimum yang diperlukan dalam proses koagulasi-flokulasi (Praptijanto, A., 2018).

TSS atau *Total Suspended Solids* merupakan salah satu parameter penting dalam memantau kualitas air limbah karena bisa berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia. TSS terdiri dari partikel padat seperti lumpur, tanah, dan bahan organik yang ada dalam air limbah. Keberadaan TSS yang tinggi dalam air limbah dapat menyebabkan sejumlah masalah seperti penurunan penetrasi cahaya matahari, penurunan oksigen terlarut, dan endapan di dasar perairan yang dapat merusak ekosistem dan menyebarkan penyakit. Oleh karena itu, pengurangan TSS perlu dilakukan sebelum air limbah dibuang ke lingkungan (Chen *et al.*, 2019).

Untuk mengurangi TSS dalam air limbah, proses koagulasi-flokulasi dapat dilakukan, namun membutuhkan optimasi dosis dan jenis bahan kimia yang digunakan. Faktor lain seperti pH, suhu, dan kecepatan pengadukan juga mempengaruhi efektivitas proses koagulasi-flokulasi. Karena itu, penelitian terus dilakukan untuk mengembangkan teknologi koagulasi-flokulasi yang lebih efektif dan ramah lingkungan (Praptijanto, A., 2018).

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 telah mengatur baku mutu air limbah domestik di Indonesia, di mana kandungan TSS dalam air limbah tidak boleh melebihi 30 mg/L untuk kegiatan usaha. Meskipun demikian, peraturan ini dapat bervariasi tergantung pada jenis kegiatan

dan lokasi di mana limbah dihasilkan, serta dapat diperketat oleh pemerintah daerah melalui peraturan yang lebih spesifik.

Berikut adalah tabel standar TSS dalam air limbah yang diatur oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik dapat dilihat pada tabel 3 :

Tabel 3. Baku mutu air limbah domestik

Parameter	Satuan	Kadar Maksimum
pH	-	6 – 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak & Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Colioform	Jumlah/100ml	3000
Debit	L/orang/perhari	100

Sumber : Permen LHK No 68 Tahun 2016.

## 2.5 Jar Test

Uji Jar atau *Jar Test* adalah metode percobaan yang berfungsi untuk menentukan dosis optimum dari koagulan dan flokulan yang digunakan dalam proses pengolahan air. Ketika dilakukan dengan benar, uji jar memberikan informasi yang bermanfaat untuk membantu operator instalasi dalam mengoptimalkan proses koagulasi, flokulasi dan penjernihan. Data yang diperoleh dari uji jar mencakup kondisi optimum untuk parameter-parameter proses seperti dosis koagulan dan koagulan pembantu, metode pembubuhan bahan kimia, kecepatan larutan kimia, waktu dan intensitas pengadukan cepat dan lambat (flokulasi), serta waktu penjernihan (Akbar, 2020).

Untuk mengetahui kekeruhan akhir pada penambahan kedua koagulan yang sesuai dengan standar baku mutu air bersih, dilakukan pelaksanaan *Jar Test* sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum. Hasil dari *Jar Test* dapat menentukan konsentrasi koagulan yang optimum yang memberikan kekeruhan akhir tepat dibawah 5 NTU, bukan konsentrasi koagulan yang memberikan kekeruhan terendah (Noviani., 2012).

SNI 19-6449-2000 menetapkan metode pengujian koagulasi dan flokulasi menggunakan *Jar Test* sebagai prosedur umum untuk mengolah air dengan tujuan mengurangi bahan terlarut, koloid, dan zat yang tidak mengendap dalam air. Metode ini melibatkan penggunaan zat kimia dalam proses koagulasi dan flokulasi, yang kemudian diikuti dengan proses pengendapan (Ardiansyah., 2020). Uji koagulasi flokulasi dijalankan dengan tujuan untuk menetapkan dosis dan persyaratan bahan kimia yang diperlukan untuk mencapai hasil yang optimum. Beberapa variabel utama yang dievaluasi sesuai dengan rekomendasi, termasuk: jenis bahan kimia pembantu, pH, suhu, persyaratan tambahan, dan kondisi pencampuran (Moelyo, 2012).

## **2.6 *Respon Surface Methodology (RSM)***

*Respon Surface Methodology (RSM)* merupakan pendekatan eksperimental yang berguna apabila respon yang diinginkan dipengaruhi oleh beberapa faktor dan tujuannya adalah untuk mencari nilai optimum dari respon tersebut. RSM mencakup berbagai aspek, termasuk pemilihan rancangan percobaan yang cocok untuk tujuan optimasi dan metode pencarian faktor yang efisien untuk mencapai daerah optimum dengan cepat (Trihaditia *et al.*, 2018).

Metode tersebut digunakan dengan tujuan untuk meningkatkan dan mengoptimalkan proses formulasi yang digunakan dalam pembuatan produk baru atau peningkatan produk yang sudah ada. Penerapannya sangat penting terutama di bidang pengembangan, rancangan, dan perumusan produk baru (Trihaditia *et al.*, 2018).

Metode *Response Surface Methodology (RSM)* tidak hanya mencakup pengaruh variabel independen, tetapi juga menciptakan model matematis yang menjelaskan proses kimia atau biokimia. Konsep utama dari metode ini adalah untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap respon, membuat model hubungan antara variabel bebas dan respon, serta menemukan kondisi proses yang dapat menghasilkan respon yang optimum. Salah satu keunggulan metode RSM adalah bahwa metode ini tidak memerlukan data percobaan dalam jumlah besar dan tidak membutuhkan waktu yang lama (Nurmiah *et al.*, 2013)

Variabel-variabel yang mempengaruhi variabel respon, diasumsikan terkendali oleh peneliti dan direpresentasikan dengan  $x_1, x_2, \dots, x_k$ . Sementara

variabel respon sendiri diasumsikan sebagai variabel acak dan dinotasikan dengan  $y$  (Rustanti, 2018). Rancangan percobaan yang digunakan dalam metode *Response Surface Methodology* (RSM) adalah *Box-Behnken*. Pengolahan data dilakukan pada program RSM seperti *Design Expert*, di mana data yang diolah berasal dari hasil optimasi pada penelitian sebelumnya.

## 2.7. Penelitian Terdahulu

Judul	Metode	Hasil
<i>Application of Response Surface Methodology to Optimize Coagulation Treatment Process of Urban Drinking Water Using Polyaluminium Chloride</i> (Yateh et al., 2023).	Menentukan kondisi optimum dari koagulan : aluminium sulfat, <i>poly aluminium chloride</i> , besi sulfat, dan silikat sulfat dengan proses koagulasi-flokulasi dan metode RSM ( <i>Box-Behnken Design</i> ).	Penggunaan koagulan yang paling efektif dalam proses pengolahan air minum kota adalah PAC dengan dosis 50 ppm efektif menurunkan TSS sebesar 56,17%
<i>Improving The Removal of Anionic Surfactant In Cardboard Industry Wastewater by Coagulation/Flocculation: Process Optimization With Response Surface Methodology</i> (Harif et al., 2023).	Metodologi RSM dengan <i>Box-Behnken Design</i> digunakan untuk mengoptimalkan proses koagulasi-flokulasi pada limbah cair kardus menggunakan PAC kationik dan PAM anionik untuk mereduksi kadar COD limbah cair kardus.	Penggunaan PAC kationik dan PAM anionik efektif dalam menurunkan COD limbah cair kardus dengan dosis 311 ppm PAC dan PAM 4,5 ppm, efektif dalam penurunan COD sebesar 95,02%.
<i>Response surface optimization of chemical coagulation for solid-liquid separation of dairy manure slurry through Box-Behnken design with desirability function</i> (Meetiyagoda et al., 2023).	Melakukan analisis optimasi menggunakan metode RSM dengan <i>Box-Behnken Design</i> untuk mendapatkan kondisi optimum penggunaan PAC dan PAM anionik dengan proses koagulasi-flokulasi pada limbah kotoran ternak.	Dari hasil optimasi didapatkan kondisi optimum pada PAC sebesar 75 ppm dan pada PAM anionic sebesar 35 ppm efektif menurunkan turbiditas sebesar 99% dan COD sebesar 97%.