

## Perbandingan Tawas Dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe

Selvi Widiawati<sup>1</sup>, Fibrianzia Bety Ardistyia<sup>1</sup>, Agus Aktawan<sup>1\*</sup>, Firda Mahira Alfiata Chusna<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta, Jl. Ringroad Selatan, Tamanan, Banguntapan, Bantul, Yogyakarta, 55166

\*Corresponding Author : agus.aktawan@che.uad.ac.id

### Abstrak

Limbah yang dihasilkan dari industri tempe diantaranya limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Limbah cair dari industri tempe apabila tidak diolah secara baik, maka akan memiliki dampak buruk terhadap lingkungan sekitar dan akan menjadi permasalahan lingkungan yang membutuhkan waktu, tenaga, dan biaya dalam menanganinya. Limbah cair dari proses pembuatan tempe memiliki beberapa kandungan seperti 0,11% karbohidrat, 0,42% protein, 0,13% lemak, 4,55% besi, 1,74 fosfor dan 98,8% air. Dalam penelitian pengolahan limbah cair industri tempe kali ini akan dilakukan dengan koagulasi menggunakan koagulan anorganik berupa tawas dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Penelitian ini menggunakan variasi koagulan dengan berat masing-masing sebanyak 18%, 19%, 21%, 22% dan 23%. Setelah itu menganalisis hasil pengolahan limbah cair tempe dengan mengukur nilai TSS (Total Solid Suspended), DO (Disolve Oxygen), COD (Chemixal Oxygen Demand), dan pH. Keefektifan koagulan tawas dalam menaikkan konsentrasi DO dan menurunkan TSS yaitu pada berat 18 gram, serta keefektifan koagulan tawas dalam menurunkan COD yaitu pada berat 20 gram. Sedangkan keefektifan koagulan PAC dalam menaikkan DO yaitu pada berat 16 gram, serta keefektifan koagulan dalam menurunkan COD dan TSS yaitu pada berat 20 gram. Jenis koagulan yang optimum dalam menurunkan COD dan TSS serta menaikkan kadar DO yaitu koagulan tawas.

**Kata kunci:** Limbah cair, Tawas, *Poly Aluminium Chloride*

### Abstract

*Waste produced from the tempe industry includes liquid waste, solid waste, and gas waste. Suppose liquid waste from the tempe industry is not processed properly. In that case, it will harm the surrounding environment and become an environmental problem requiring time, energy, and money. Liquid waste from the tempe-making process has several contents, such as 0.11% carbohydrates, 0.42% protein, 0.13% fat, 4.55% iron, 1.74 phosphorus, and 98.8% water. In research on liquid waste processing, the liquid waste of tempe industry will be carried out by coagulation using inorganic coagulants in the form of alum and *Poly Aluminum Chloride* (PAC). This study used a variety of coagulants with respective weights of 18%, 19%, 21%, 22% and 23%. After that, the results of tempeh liquid waste processing will be analyzed by measuring the TSS (Total Solid Suspended), DO (Dissolve Oxygen), COD (Chemical Oxygen Demand), and pH values. The effectiveness of alum coagulant in increasing DO concentration and reducing TSS is at a weight of 18 grams, and the effectiveness of alum coagulant in reducing COD is at a weight of 20 grams. Meanwhile, the effectiveness of the PAC coagulant in increasing DO is at a weight of 16 grams, and the effectiveness of the coagulant in reducing COD and TSS is at a weight of 20 grams. The optimum type of coagulant in reducing COD and TSS and increasing DO levels is alum coagulant.*

**Keywords:** *Liquid waste, Alum, Poly Aluminium Chloride*

## PENDAHULUAN

Industri tempe merupakan usaha yang didirikan untuk mengembangkan kegiatan di bidang pangan yang menggunakan bahan baku kedelai. Konsumsi kedelai Indonesia pada tahun 2019 telah mencapai 2.967.695 ton. Dalam proses pengolahannya memiliki dampak positif serta negatif bagi lingkungan. Adapun dampak positif dari industri tempe yaitu kebutuhan sumber pangan masyarakat akan terpenuhi, sedangkan untuk dampak negatifnya yaitu limbah buangan yang mencemari dan merusak lingkungan. Pencemaran yang dihasilkan berupa hasil pembuangan limbah padat dari ampas tempe dan limbah cair dari bekas rendaman kedelai. Limbah yang dibuang secara langsung dapat menyebabkan pencemaran lingkungan di sekitar industri tempe cukup serius. (Ayuni, 2022).

Limbah cair merupakan bahan sisa dari kegiatan perumahan maupun industri dengan bahan baku air dan mempunyai karakteristik yang ditentukan oleh sifat fisik, kimia dan biologi limbah. Pengolahan limbah cair bisa dilakukan dengan penggunaan adsorben (Puspita Anggraeni, dkk. 2023) atau melalui proses koagulasi dengan penambahan koagulan (Winda Rohmah, dkk. 2023) dan bisa melalui proses penyaringan membran (Husna, dkk. 2023). Limbah cair dari hasil produksi tempe mengandung sisa air dari rebusan kedelai dan air rendaman kedelai, sehingga limbah yang dihasilkan masih mengandung zat-zat organik seperti protein, karbohidrat, dan lemak. Dampak yang disebabkan oleh limbah cair yang mengandung *poly* virus penyakit dapat mematikan organisme di perairan, terjadi perubahan sifat fisis air, meningkatnya jumlah padatan tersuspensi dalam air dan naik turunnya keasaman air. Limbah padat hasil produksi tempe bisa diolah menjadi energi melalui teknologi pirolisis (Jamilatun, S., dkk. 2022) dan gasifikasi (Aktawan, A., dkk. 2023).

Menurut PP No. 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air, dikatakan bahwa air merupakan sumber daya alam yang perlu dipelihara untuk melindungi kualitas air agar tetap bersih dan bermanfaat bagi kehidupan manusia serta ekosistem yang hidup di perairan, baik di masa kini maupun di masa yang akan datang. Oleh karena itu untuk menjaga kualitas air agar dapat bermanfaat

secara berkelanjutan dengan tingkat mutu yang diinginkan, maka perlu pengendalian pencemaran air bagi kehidupan manusia dan untuk mendapatkan lingkungan hidup yang bersih.

Beberapa upaya yang harus dilakukan dalam pemanfaatan limbah cair dari industri tempe adalah dengan mengolahnya menjadi pupuk, biogas, *nata de soya*, dan air proses. Salah satu upaya yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan mengolahnya menjadi air proses. Standar kualitas air proses didasarkan pada menghilangkan bau, penurunan pH, COD, TSS, serta DO (*Dissolved oxygen*) yang dihasilkan melalui proses koagulasi menggunakan tawas dan PAC (*Poly Aluminium Chloride*) sebagai koagulan. Dengan tujuan agar limbah cair dalam industri tempe yang dibuang tidak berbahaya terhadap lingkungan sekitar dan bisa digunakan kembali dalam industri tersebut. Pada penelitian ini akan dilakukan pengendapan limbah cair tersuspensi dengan variasi koagulan, variasi berat koagulan dengan waktu pengadukan yang tetap.

Kedua jenis bahan tersebut mempunyai kemampuan untuk menjernihkan air dengan cara mengkoagulasi zat-zat tersuspensi atau dispersi koloid dalam air. Namun secara umum, PAC lebih sering digunakan daripada tawas karena menghasilkan ukuran flok yang lebih besar dan kecepatan pengendapan yang lebih tinggi (Margaretha dkk., 2012)

## METODE

### Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *magnetic stirrer*, *stirrer bar*, gelas beker, corong, gelas ukur, kertas saring, *stopwatch*, *universal indicator*, timbangan, erlenmeyer, dan pipet tetes. Sedangkan bahan yang digunakan yaitu tawas dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) didapatkan dari toko bahan kimia Bratachem.

### Prosedur Penelitian

Menyiapkan alat-alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Mengukur limbah cair tempe sebanyak 250 ml dengan menggunakan gelas ukur. Menuangkan limbah cair tempe yang dibutuhkan ke dalam gelas beker. Kemudian mengukur pH yang terkandung dalam limbah sebelum dilakukan proses koagulasi.

Memasukkan limbah cair tempe kedalam gelas beker sebanyak 250ml. Kemudian memasukkan koagulan yang akan digunakan berupa tawas dan PAC pada masing-masing gelas beker yang telah diisi limbah cair tempe sebanyak 250ml dengan variasi berat koagulan yaitu 18%, 19%, 21%, 22%, dan 23%. Dilakukan pengadukan agar koagulan tercampur sempurna dengan limbah cair tempe menggunakan magnetic stirrer selama 30 menit dengan pengadukan tetap. Lalu mendinginkan larutan limbah tersebut untuk mengendapkan suspsi terlarut dalam limbah. Setelah suspensi terlarut mengendap dilakukan penyaringan sampel dengan menggunakan kertas saring. Kemudian menuangkan sampel ke dalam gelas beker dan mengukur pH akhir yang terkandung dalam limbah cair tempe menggunakan universal indicator. Setelah itu melakukan perbandingan hasil koagulasi yang diperoleh berupa data pH, DO, COD, dan TSS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

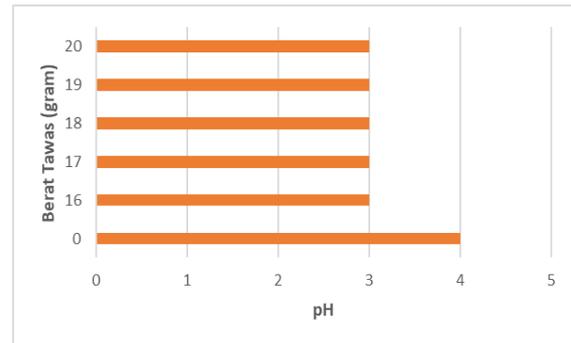
### Nilai pH pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan Tawas

Pada penelitian ini untuk mengukur nilai pH dari berbagai variasi berat koagulan tawas dapat dilakukan dengan menggunakan *universal indicator*. Nilai pH yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Hasil Pengukuran pH Limbah Cair

Berat Koagulan Tawas (gr)	pH
0	4
16	3
17	3
18	3
19	3
20	3

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran pH menggunakan *universal indicator* variasi banyaknya koagulan. Grafik rata-rata hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. Hasil Pengukuran pH Limbah Menggunakan *universal indicator*

Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai pH mengalami penurunan dari masing-masing perlakuan. Pada perlakuan variasi berat 16 gram, 17 gram, 18 gram, 19 gram dan 20 gram terjadi penurunan pH dari 4 menjadi 3 penurunan pH di tiap perlakuan sama dikarenakan pengukuran pH menggunakan *universal indicator* tidak menggunakan alat pH meter maka hasilnya tidak terlalu rinci. Perlakuan ini pH cenderung asam dikarenakan pengaruh tawas yang digunakan memiliki pH berkisar 5-7. Nilai pH yang didapatkan dalam penelitian ini belum sesuai dengan standar baku mutu limbah cair industri.

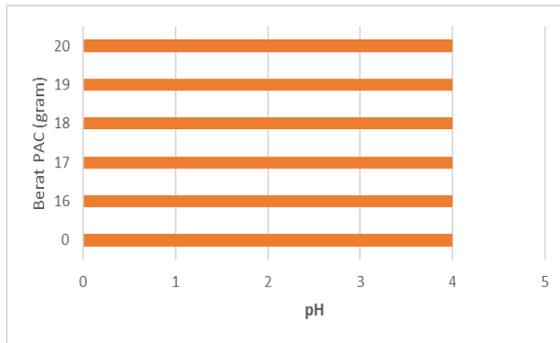
### Hasil Kenaikan pH pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan Poly Aluminium Chlorida (PAC)

Pada penelitian ini untuk mengukur nilai pH dari berbagai variasi berat koagulan *Poly Aluminium Sulfat* dapat dilakukan dengan menggunakan *universal indicator*. Nilai pH yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Hasil Pengukuran pH Limbah Cair

Berat Koagulan PAC (gr)	pH
0	4
16	4
17	4
18	4
19	4
20	4

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran pH menggunakan *universal indicator* variasi banyaknya koagulan. Grafik rata-rata hasil pengukuran pH dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2. Grafik Hasil Pengukuran pH Limbah Menggunakan *universal indicator*

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai pH mengalami penurunan dari masing-masing perlakuan. Pada perlakuan variasi berat 16 gram, 17 gram, 18 gram, 19 gram dan 20 gram nilai pH yang didapatkan tetap yaitu 4 pada setiap perlakuan yang sama. Dikarenakan pengukuran pH menggunakan *universal indicator* tidak menggunakan alat pH meter maka hasilnya tidak terlalu rinci. Perlakuan ini pH cenderung basa dikarenakan pengaruh PAC yang digunakan memiliki pH yang lebih luas daripada tawas yaitu berkisar 5-10. Nilai pH yang didapatkan dalam penelitian ini belum sesuai dengan standar baku mutu limbah cair industri.

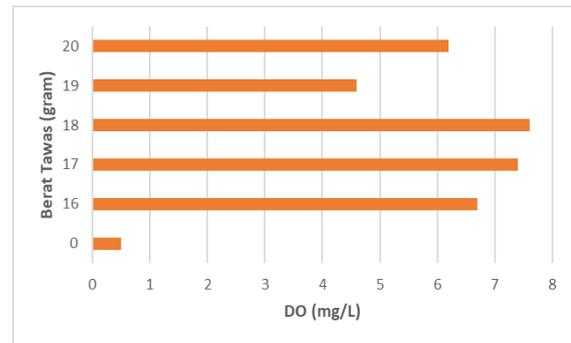
#### Hasil Kadar DO pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan Tawas

Pada penelitian ini untuk mengukur kadar DO dari berbagai variasi berat koagulan tawas dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini :

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kadar DO Limbah Cair

Berat Koagulan Tawas (gr)	Kadar DO (mg/L)
0	0,5
16	6,7
17	7,4
18	7,6
19	4,6
20	6,2

Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran kadar DO dengan variasi banyaknya koagulan. Grafik rata-rata hasil pengukuran kadar DO dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Grafik Hasil Pengukuran Kadar DO Limbah Cair

Gambar 3 menunjukkan bahwa kadar DO mengalami kenaikan dari masing-masing perlakuan. Nilai konsentrasi DO pada limbah cair dapat dinaikkan menggunakan koagulan tawas. Semakin banyak koagulan yang diberikan, maka semakin meningkat pula DO yang terukur. Hal ini disebabkan karena partikel pengotor sudah terikat dengan koagulan. Nilai kadar DO sebelum perlakuan sebesar 0,5 mg/L; pada koagulan 16 gram sebesar 6,7 mg/L; pada koagulan 17 gram sebesar 7,4 mg/L; pada koagulan 18 gram sebesar 7,6 mg/L; pada koagulan 19 gram sebesar 4,6 mg/L; pada koagulan 20 gram sebesar 6,2 mg/L. Nilai kadar DO yang didapatkan dalam penelitian ini sudah sesuai dengan standar baku mutu limbah cair industri.

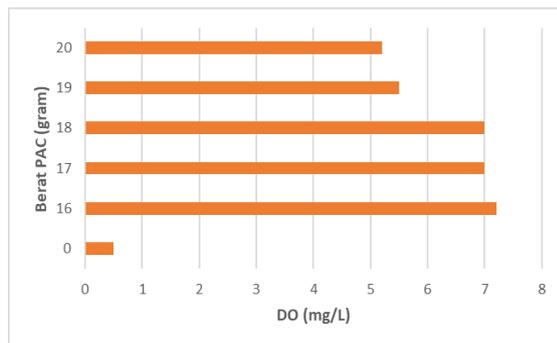
#### Hasil Kadar DO pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan Poly Aluminium Chlorida (PAC)

Pada penelitian ini untuk mengukur kadar DO dari berbagai variasi berat koagulan *Poly Aluminium Chlorida* (PAC) dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini :

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kadar DO dalam Limbah Cair

Berat Koagulan PAC (gr)	Kadar DO (mg/L)
0	0,5
16	7,2
17	7,0
18	7,0
19	5,5
20	5,2

Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran kadar DO dengan variasi banyaknya koagulan. Grafik rata-rata hasil pengukuran kadar DO dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini :



Gambar 4. Grafik Hasil Pengukuran Kadar DO Limbah Cair

Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar DO mengalami penurunan dari masing-masing perlakuan. Semakin banyak koagulan PAC maka kadar oksigen terlarut pada air semakin menurun. Dikarenakan terbentuknya ion klorit pada koagulan PAC yang dapat dianggap sebagai kandungan mineral dan garam. Nilai kadar DO sebelum perlakuan sebesar 0,5 mg/L; pada koagulan 16 gram sebesar 7,2 mg/L; pada koagulan 17 gram sebesar 7,0 mg/L; pada koagulan 18 gram sebesar 7,0 mg/L; pada koagulan 19 gram sebesar 5,5 mg/L; pada koagulan 20 gram sebesar 5,2 mg/L. Nilai kadar DO yang didapatkan dalam penelitian ini sudah sesuai dengan standar baku mutu limbah cair industri.

#### Hasil Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan Tawas

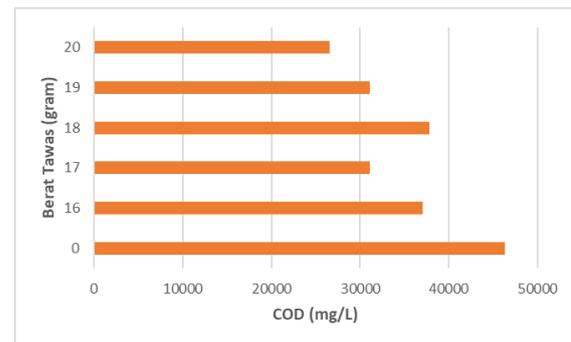
Pada penelitian ini untuk mengukur kadar COD dari berbagai variasi berat koagulan tawas dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kadar COD Limbah Cair

Berat Koagulan Tawas (gr)	Kadar COD (mg/L)
0	46345
16	37095
17	31095
18	37845
19	31095
20	26595

Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran kadar COD dengan variasi banyaknya koagulan. Grafik rata-rata hasil pengukuran

kadar COD dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini :



Gambar 5. Grafik Hasil Pengukuran Kadar COD Limbah Cair

Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar COD mengalami penurunan dari masing-masing perlakuan. Semakin banyak koagulan tawas maka kadar COD semakin turun. Nilai kadar COD sebelum perlakuan sebesar 46345 mg/L; pada koagulan 16 gram sebesar 37095 mg/L; pada koagulan 17 gram sebesar 31095 mg/L; pada koagulan 18 gram sebesar 37845 mg/L; pada koagulan 19 gram sebesar 31095 mg/L; pada koagulan 20 gram sebesar 26595 mg/L. Nilai kadar COD yang didapatkan dalam penelitian ini masih jauh diatas ambang batas baku mutu air limbah. Tingginya kadar COD disebabkan adanya penurunan bahan organik maupun anorganik dari limbah industri yang dihasilkan dan mengakibatkan rendahnya kandungan oksigen dalam limbah. Penurunan kadar COD dengan penambahan tawas memiliki muatan partikel koloid yang dinetralkan sehingga menungknakan partikel tersebut saling berbenturan dan menjadi kasar dan mengendap.

#### Hasil Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan *Poly Aluminium Chlorida* (PAC)

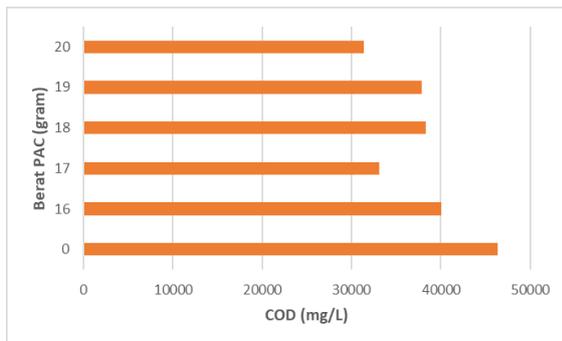
Pada penelitian ini untuk mengukur kadar COD dari berbagai variasi berat koagulan PAC dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini :

Tabel 6. Hasil Pengukuran Kadar COD Limbah Cair

Berat Koagulan PAC (gr)	Kadar COD (mg/L)
0	46345
16	40095

17	33095
18	38345
19	37845
20	31345

Tabel 6 menunjukkan hasil pengukuran kadar COD dengan variasi banyaknya koagulan. Grafik rata-rata hasil pengukuran kadar COD dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini :



Gambar 6. Grafik Hasil Pengukuran Kadar COD Limbah Cair

Gambar 6 menunjukkan bahwa kadar COD mengalami penurunan dari masing-masing perlakuan. Semakin banyak koagulan PAC maka kadar COD semakin turun. Nilai kadar COD sebelum perlakuan sebesar 46345 mg/L; pada koagulan 16 gram sebesar 40095 mg/L; pada koagulan 17 gram sebesar 33095 mg/L; pada koagulan 18 gram sebesar 38345 mg/L; pada koagulan 19 gram sebesar 37845 mg/L; pada koagulan 20 gram sebesar 31345 mg/L. Nilai kadar COD yang didapatkan dalam penelitian ini masih jauh diatas ambang batas baku mutu air limbah. Penurunan kadar COD dengan penambahan PAC mengandung suatu polimer khusus dengan struktur polielektrolit yang dapat mengurangi atau tidak perlu sama sekali bahan pembantu.

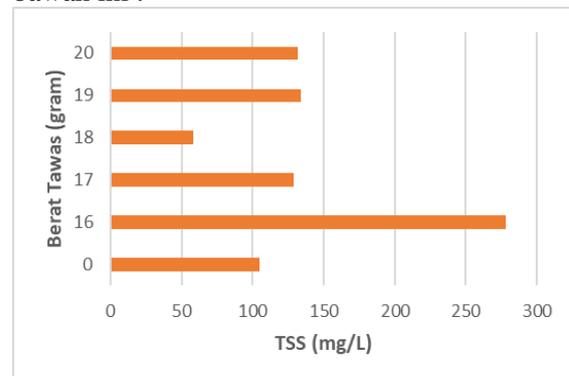
#### Hasil Kadar *Total Solid Suspended* (TSS) pada Limbah Cair Industri Tempe menggunakan Koagulan Tawas

Pada penelitian ini untuk mengukur kadar TSS dari berbagai variasi berat koagulan tawas dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini :  
Tabel 7. Hasil Pengukuran Kadar TSS Limbah Cair

Berat Koagulan Tawas (gr)	Kadar TSS (mg/L)
0	105

16	278
17	129
18	58
19	134
20	132

Tabel 7 menunjukkan hasil pengukuran kadar TSS dengan variasi banyaknya koagulan. Grafik rata-rata hasil pengukuran kadar TSS dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini :



Gambar 7. Grafik Hasil Pengukuran Kadar TSS Limbah Cair

Gambar 7 menunjukkan bahwa kadar TSS mengalami penurunan dari masing-masing perlakuan. Semakin banyak tawas maka kadar TSS semakin turun. Hal ini disebabkan kandungan tawas yang merupakan disperse koloid bermuatan positif akan mengikat partikel-partikel halus bermuatan negatif lalu dinetralkan muatannya kemudian akan membentuk flok-flok kecil dan mengendap. Namun pada penambahan tawas yang berlebih akan meningkatkan kekeruhan. Hal ini disebabkan adanya proses adsorpsi kation yang berlebih pada permukaan partikel koloid yang bermuatan negatif dengan muatan positif.

Nilai kadar TSS sebelum perlakuan sebesar 105 mg/L; pada koagulan 16 gram sebesar 278 mg/L; pada koagulan 17 gram sebesar 129 mg/L; pada koagulan 18 gram sebesar 58 mg/L; pada koagulan 19 gram sebesar 134 mg/L; pada koagulan 20 gram sebesar 132 mg/L. Nilai kadar TSS yang didapatkan dalam penelitian ini sudah sesuai dengan baku mutu air limbah.

#### Hasil Kadar *Total Solid Suspended* (TSS) pada Limbah Cair Industri Tempe

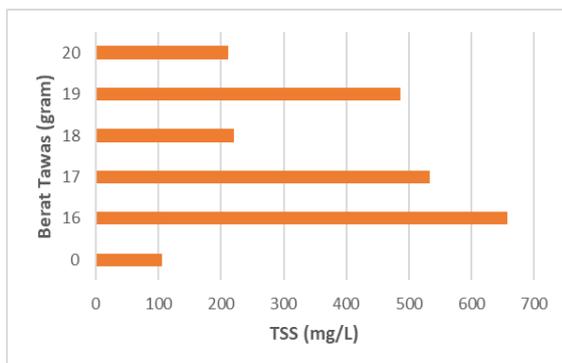
### menggunakan Koagulan *Poly Aluminium Chlorida* (PAC)

Penelitian ini untuk mengukur kadar TSS dari berbagai variasi berat koagulan *Poly Aluminium Chlorida* (PAC) dapat dilihat pada Tabel 8 di bawah ini :

Tabel 81. Hasil Pengukuran Kadar TSS Limbah Cair

Berat Koagulan PAC (gr)	Kadar TSS (mg/L)
0	105
16	657
17	534
18	220
19	486
20	212

Tabel 8 menunjukkan hasil pengukuran kadar TSS dengan variasi banyaknya koagulan. Grafik rata-rata hasil pengukuran kadar TSS dapat dilihat pada Gambar 8 di bawah ini :



Gambar 8. Grafik Hasil Pengukuran Kadar TSS Limbah Cair

Gambar 8 menunjukkan bahwa kadar TSS mengalami penurunan dari masing-masing perlakuan. Semakin sedikit PAC maka kadar TSS semakin turun. Hal ini disebabkan kandungan PAC dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengolahan air limbah. Koagulan PAC lebih cepat menurunkan kekeruhan dibanding tawas. Sehingga penggunaan PAC tidak sebanyak dibandingkan dengan Aluminium sulfat.

Nilai kadar TSS sebelum perlakuan sebesar 105 mg/L; pada koagulan 16 gram sebesar 657 mg/L; pada koagulan 17 gram sebesar 534 mg/L; pada koagulan 18 gram sebesar 220 mg/L; pada koagulan 19 gram

sebesar 486 mg/L; pada koagulan 20 gram sebesar 212 mg/L. Nilai kadar TSS yang didapatkan dalam penelitian ini tidak memenuhi baku mutu air limbah.

### SIMPULAN DAN SARAN

Banyaknya koagulan yang digunakan adalah salah satu faktor yang berpengaruh dalam proses koagulasi. Pada koagulan tawas semakin banyak koagulan maka nilai pH menurun, kadar DO semakin tinggi serta kadar COD dan TSS semakin rendah. Sedangkan pada koagulan PAC semakin banyak koagulan maka nilai pH tetap serta kadar DO, COD, dan TSS semakin rendah. Keefektifan koagulan tawas dalam menaikkan konsentrasi DO dan menurunkan TSS yaitu pada berat 18 gram, serta keefektifan koagulan tawas dalam menurunkan COD yaitu pada berat 20 gram. Sedangkan keefektifan koagulan PAC dalam menaikkan DO yaitu pada berat 16 gram, serta keefektifan koagulan dalam menurunkan COD dan TSS yaitu pada berat 20 gram. Jenis koagulan yang optimum dalam menurunkan COD dan TSS serta menaikkan kadar DO yaitu koagulan tawas.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada Universitas Ahmad Dahlan terutama Laboratorium Program Studi Teknik Kimia dengan laboran ibu Eko Susilowati yang telah menyediakan fasilitas penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Santika, S. 2007. Metode Penelitian Air. Surabaya: Usaha Nasional.
- Aktawan, A., Maryudi, M., Salamah, S., & Astuti, E. (2020). Gasification of oil palm shells and empty fruit bunches to produce gas fuel. *Key Engineering Materials*, 849, 3-7. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.849.3>
- Andika, B., Wahyuningsih, P., & Fajri, R. (2020). Penentuan nilai BOD dan COD sebagai parameter pencemaran air dan baku mutu air limbah di pusat penelitian kelapa sawit (PPKS) Medan. *QUIMICA*:

- Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(1), 14-22.
- Astawan, M. (2004). Tetap sehat dengan produk makanan olahan. Solo: Tiga Serangkai.
- Cahyadi, W. (2007). Teknologi dan khasiat kedelai. Jakarta: Bumi Aksara.
- Firra, R., & Mohamad, M. (2013). Efektifitas Pac Dan Tawas untuk Menurunkan Kekeuhan pada Air Permukaan. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 5(1).
- Hidayah, Hasna Nadida Al. 2018. Pengolahan Limbah Cair Industri Tempe Untuk Menurunkan Kadar *Chemical Oxygen Demand (COD)* Dengan Metode Koagulasi Menggunakan Koagulan *Poly Aluminium Chloride (PAC)* dan Aluminium Sulfat. [Skripsi]. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Husna, M., Aktawan, A., Jamilatun, S., Rosyida, F., & Fauziah, S. (2023). Effectiveness of polyamide membrane from durian peel charcoal for fried chicken cooking oil purification. *International Conference on Research Innovations: Trends in Science and Technology*.  
<https://doi.org/10.1063/5.0180634>
- Jamilatun, S., Budiman, A., Mufandi, I., Aktawan, A., Fauzi, N., & Denanti, D. P. (2022). The Effects of Particle Mesh and Temperature on Pyrolysis *Spirulina platensis* Residue (SPR): Pyrolysis Yield and Bio-Oil Properties. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 22(1), 141-155. Retrieved from <https://journal.ugm.ac.id/v3/AJChE/article/view/9234>
- Kasmidjo, R. B. (1990). Tempe: Mikrobiologi dan biokimia pengolahan serta pemanfaatannya. PAU Pangan dan Gizi, UGM, Yogyakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta: Presiden Republik Indonesia.
- Purnama, G.S. (2016). Modul Analisis Dampak Limbah Cair Industri Tempe Di Denpasar. Bali: Universitas Udayana.
- Puspita Anggraeni, E., Khoirunnisa, F., & Aktawan, A. (2023). Adsorption of cu and cd metals in batik liquid waste using adsorbents from chicken bone waste. *Jurnal Kimia Dan Rekayasa*, 4(1), 9-16. <https://doi.org/10.31001/jkireka.v4i1.60>
- Rahimah, Z., Heldawati, H., & Syauqiah, I. (2016). Pengolahan limbah deterjen dengan metode koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan kapur dan PAC. *Konversi*, 5(2), 52-59.
- Salsabila, U., Joko, T., & Dangiran, H. L. (2018). Perbedaan Penurunan Chemical Oxygen Demand (Cod) Melalui Pemberian Tawas Dan Poly Aluminium Chloride (Pac) Pada Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan Penggaron Semarang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (Undip)*, 6(4), 525-531.
- Shoffianti, W. R., Argatiningtyas, D., Aktawan, A., Santosa, I., & Husna, M. (2023). Tempeh manufacturing liquid waste treatment using alum coagulant with variation of coagulant weight. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 10(1), 35. <https://doi.org/10.26555/chemica.v10i1.25270>
- Suknia, S. L., & Rahmani, T. P. D. (2020). Proses pembuatan tempe *home industry* berbahan dasar kedelai (*Glycine max (L.) Merr*) dan kacang merah (*Phaseolus vulgaris L.*) di Candiwesi, Salatiga. *Southeast Asian Journal of Islamic Education*, 3(01), 59-76.
- Wardhani, N. K., Sutrisno, E., & Sumiyati, S. (2015). *Penurunan konsentrasi bod dan tss pada limbah cair tahu dengan teknologi kolam (pond)-biofilm menggunakan media biofilter jaring ikan dan bioball* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- Winoto, E., & Aprilyanti, S. (2021). Perbandingan Penggunaan Tawas Dan Pac Terhadap Kekeuhan Dan Ph Air Baku Pdam Tirta Musi Palembang. *Jurnal Redoks*, 6(2), 107-116.