Pengolahan Limbah Cair Tekstil dengan Menggunakan Koagulan $FeCl_3$

Lutviana Nur Ayni [1], Erlinda Ningsih [2]
[1,2]Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri,
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
E-mail: lutviana1812@gmail.com, erlindaningsiher@gmail.com,

ABSTRACT

Well water is an alternative of water resource exploitable by the people to meet their clean water needs. The water source in the Simolawang Surabaya area is classified as difficult because the location is far from the mountain springs of the PDAM facilities that have not reached the area so that residents depend on their water needs to infiltration, namely well water, but the quality of the well water is not feasible because it is cloudy in color and contains metals.The research was to identify the effects of coagulant dosage to percentage of turbidity and iron (Fe) removals. The well water treatment in Simolawang area was conducted by coagulation method using aloevera as coagulant and was completed in 5 successive dosages : 0.40%, 0.80%, 1.20%, 1.60% and 2.00%. The results of the research showed that the highest percentage of turbidity removal, i.e. : 74.56%, was contributed by 1.6% dosage. The highest percentage of iron (Fe) removal, i.e.: 74.00%, was attained by 1.6% dosage. The best time to gain the highest percentage of tubidity removal was by slow stirring for 30 minutes with application of 1.6% coagulant dosage removing turbidity by 74.56 % and iron (Fe) by 74.00 %.

Key words: *well water, aloevera, flocculation, coagulation*

ABSTRAK

Keberadaan industri tekstil di Indonesia tidak hanya dengan kategori industri skala besar dan menengah, tapi juga dalam skala kecil dan bahkan ada yang dalam skala rumah tangga (*home industry*), seperti pewarnaan dan pencelupan jeans. Limbah cair industri tekstil sebelum dibuang ke lingkungan ini harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat memenuhi baku mutu air limbah untuk industri tekstil. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh waktu pengadukan terhadap koagulan feri klorida, untuk mendapatkan dosis feri klorida terbaik sebagai koagulan, dan untuk mengetahui biaya bahan feri klorida, kaustik soda, dan polimer anion dalam memproses limbah/m^3. Metode yang digunakan adalah metode koagulasi-flokulasi dengan penambahan koagulan feri klorida dan flokulan polimer anion dengan alat uji *jartest*. Variabel penambahan koagulan feri klorida terhadap volume limbah cair tekstil yaitu 366, 488, 610, 732, 854 ppm dengan lama pengadukan 3 dan 5 menit dan penambahan kaustik soda 48% sebagai penetral pH, kemudian dilakukan pengadukan lambat 100 rpm selama 2 menit dengan penambahan polimer anion, setelah itu dibiarkan mengendap selama 5 menit. Selanjutnya diambil filtrat dan di analisa nilai pH, TSS, warna, dan COD. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini diambil pada pengadukan cepat 150 rpm selama 3 menit dan pengadukan lambat 100 rpm selama 2 menit yaitu nilai pH 7,69, TSS 6 mg/l, warna 106 Pt-Co, COD 392 mg/l. Total biaya bahan untuk keseluruhan treatment yaitu sebesar Rp. 688.500.000,-.

Kata Kunci : *koagulasi, flokulasi, $FeCl_3$, polimer anion, dosis, biaya bahan keseluruhan proses*

PENDAHULUAN

Banyaknya industri yang tumbuh saat ini, memunculkan masalah baru yaitu limbah. Beberapa sektor industri yang mempunyai masalah yang berdampak pada lingkungan adalah limbah makanan dan minuman, limbah farmasi, limbah tekstil, dll (1). Koagulan feri klorida seringnya digunakan sebagai koagulan limbah tekstil berwarna. Telah terbukti, feri klorida dapat mengolah limbah tekstil dengan hasil yang memuaskan karena dapat menurunkan kandungan beberapa parameter dalam limbah sampai mendekati nilai yang diperoleh. Salah satu pabrik yang menghasilkan limbah cair adalah pabrik tekstil yang berlokasi di Probolinggo, Jawa Timur. Pabrik tersebut memproduksi pewarna, sehingga dalam operasional produksinya menghasilkan limbah cair yang berwarna. Zat warna pada limbah cair tersebut memiliki kepekatan warna yang cukup tinggi, sehingga diperlukan pengolahan lebih lanjut untuk mengurangi kepekatan tersebut sebelum dibuang

ke lingkungan(2). Feri klorida terbukti mampu mengikat zat warna pada limbah industri tekstil, sehingga kami ingin mengaplikasikan feri klorida untuk pengolahan limbah berwarna pada industri tekstil(3). Feri klorida saya pilih karena merupakan bahan yang terbukti aman selain itu, feri klorida lebih cocok untuk proses koagulasi di limbah warna dan dosis pemakaian chemical lebih irit(4). Pengolahan limbah tekstil di Probolinggo menggunakan koagulan feri klorida. Flokulan polimer anion dan kaustik soda 48% sebagai pH adjuster. Pengolahan limbah tekstil dengan metode koagulasi flokulasi di pabrik tekstil Kota Probolinggo.. Pada penelitian ini akan menggunakan alat flokulator (*jartest*) di daerah Sukodono, Sidoarjo dengan menggunakan metode koagulasi flokulasi, dengan menggunakan feri klorida 24,4% sebagai koagulan(5).

TINJAUAN PUSTAKA

Limbah cair industri tekstil sebelum dibuang ke lingkungan ini harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar dapat memenuhi baku mutu air limbah untuk industri tekstil. Peraturan yang digunakan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16 /MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Syarat air limbah sebelum dibuang ke sungai. Baku mutu air limbah antara lain : tidak berwarna, derajat keasaman (ph)nya netral, tidak mengandug zat kimia beracun, kesadahannya rendah, tidak mengandung bakteri patogen(6). Ciri – ciri dari limbah tekstil di Probolinggo sendiri dapat disimpulkan secara fisik yaitu memiliki fisik limbah warna biru pekat, terdapat endapan dan sedikit berbau, kemudian dari hasil pengujian laboratorium disimpulkan bahwa limbah tekstil umumnya mengandung warna, kekeruhan dan COD yang tinggi, maka dari itu diperlukan adanya tahapan proses sebelum limbah di buang ke sungai dengan metode koagulasi flokulasi, tujuan utama perlu adanya koagulasi dan flokulasi yaitu untuk memisahkan koloid yang ada didalam air baku dan untuk penyisihan kekeruhan air dengan cara penggumpalan partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar, pada proses flokulasi terjadi penggumpalan mikroflok hingga menjadi makroflok yang sudah terbentuk pada proses koagulasi(7).

Pemilihan feri klorida sebagai koagulan karena feri klorida lebih cocok untuk proses koagulasi di limbah warna dan dosis pemakaian chemical lebih irit. Feri klorida merupakan suatu bahan kimiaa komoditas sklala industri yang umunya digunakan pengolahan limbah, sebagai bahan untuk air minum dan juga sebagai katalis, baik di industri ataupun di laboratorium. Keuntungan dari feri klorida ini antara lain : proses koagulasi dapat dilakukan pada segala pH yang lebih besar antara 4-9, dapat menghilangkan warna, bau, dan rasa, flok akan cepat terbentuk sehingga cepat mengendap. Kaustik soda 48% adalah sebagai salah satu basa terkuat yang akan digunakan sebagai pH adjuster karena limbah berada pada pH asam. Polimer anion sebagai flokulan untuk membantu mempercepat pembentukan flok (padatan) yang tak larut dalam air untuk kemudian disaring(8).

Proses koagulasi-flokulasi dalam pengolahan air dapat menurunkan atau menghilangkan koloid dan zat padat tersuspensi yang menyebabkan kekeruhan dan warna pada air. Koagulan berperan penting dalam pengolahan air metode koagulasi yaitu dalam menurunkan *total suspended solid* (TSS) dan warna(9). Proses koagulasi adalah proses pencampuran koagulan dan air dengan cara pengadukan secara cepat guna mendistabilisasi padatan halus tersuspensi dan masa inti partikel, kemudian akan membentuk mikro flok. Flokulasi adalah pengadukan perlahan terhadap larutan dan juga sebagai penggabungan inti flok yang berukuran kecil menjadi flok yang berukuran lebih besar yang membuat partikel – partikel kemudian mengendap secara cepat. Keberadaan pengadukan lambat dalam suatu proses flokulasi akan menghasilkan sebuah gerakan secara perlahan dan kemudian terjadi kontak antara air dengan partikel, sehingga terbentuknya gabungan partikel yang ukuranya besar dan mudah mengendap.. *Jar test* adalah suatu percobaan skala laboratorium yang berfungsi untuk menentukan dosis optimum dari koagulan yang digunakan dalam proses pengolahan air bersih. Menggunakan alat *jartest* dengan pengadukan cepat 150 rpm dan waktunya meliputi 3 dan 5 menit, selanjutnya pengadukan lambat dengan kecepatan 100 rpm selama 2 menit.

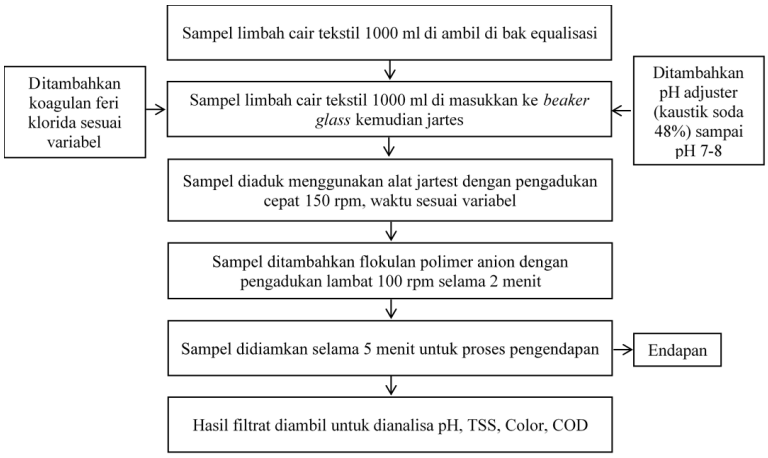
Zat warna adalah kandungan yang ada dalam limbah cair tekstil dan terdapat juga detergen untuk pencucian pada produk yang dihasilkan. Zat warn ini yang terkandung dalam limbah tekstil. Memiliki kadar warna pekat, kadar logam tinggi, dan nilai COD yang tinggi. Pada limbah tekstil terdapat beberapa kandungan dari produk pewarna. Limbah tekstil mengandung bahan-bahan yang berbahaya bila dibuang ke lingkungan, terutama sungai. Sebagian besar bahan yang terdapat dalam limbah tekstil yaitu zat warna, terutama zat warna sintetik. Uji karakteristik limbah tekstil ini didapatkan pH asam < 5,9, *Total Suspendid Solid* 183 mg/l, kadar warna 650 Pt-Co dan *Chemical Of Demand* sebesar 1890 mg/l.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental di laboratorium, dilaksanakan di Laboratorium Sukodono Sidoarjo. Prosedur penelitian proses koagulasi dan flokulasi adalah sebagai berikut:

1. Limbah cair tekstil diambil yang berada di bak equalisasi sebanyak 1000 ml warna biru, terdiri dari : limbah pewarnaan, limbah detergen, limbah boiler, dll.
2. Sampel limbah tekstil 1000 ml di masukkan ke *beaker glass* kemudian di jartes.
3. Tambahkan koagulan feri klorida dalam limbah cair tekstil sesuai variabel penelitian.
4. Tambahkan larutan kaustik soda 48% sebagai pH adjuster untuk menetralkan pH di limbah (7-8).
5. Nyalakan alat jartest (flokulator) dengan pengadukan cepat 150 rpm dan waktu sesuai variabel.
6. Tambahkan flokulan polimer anion dengan kecepatan pengadukan lambat 100 rpm selama 2 menit.
7. Diamkan hasil treatment selama 5 menit untuk proses selama sedimentasi/pengendapan.
8. Ambil hasil filtrat (hasil jernih) dari proses tahap 7
9. Analisa kadar filtrat, meliputi parameter pH, TSS, *Color*, COD.

Tahapan pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Awal Limbah Tekstil

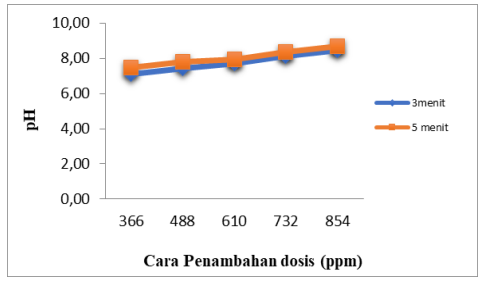
Tabel 1. Karakteristik Awal Limbah Tekstil.

No.	Parameter	Satuan	Hasil	Baku Mutu	Referensi
1.	pH	-	5,9	6-9	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan RI Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019
2.	TSS	mg/L	183	30	
3.	Warna	Pt-Co	650	200	
4.	COD	mg/L	1890	115	

Sumber:Sertifikat Laboratorium Industrial water and waste water treatment specialist

Analisa Pengaruh Dosis Koagulan Feri Klorida Terhadap pH

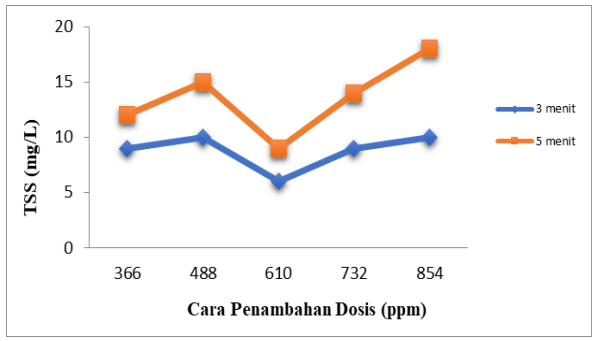
Gambar 2 pengaruh dosis feri klorida terhadap ph pada berbagai waktu.



Gambar 2. Pengaruh Dosis Feri Klorida Terhadap pH Pada Berbagai Waktu

Dari Gambar 2, diketahui bahwa penambahan koagulan feri klorida dapat memenuhi baku mutu air limbah. Pada penambahan feri klorida 366 ppm selama 3 menit didapatkan uji pH 7,11. Pada penambahan feri klorida 488 ppm, 610 ppm, 732 ppm, dan 854 ppm selama pengadukan cepat 3 menit masih masuk baku mutu air limbah yaitu pH 6-9. Tetapi semakin banyak koagulan feri klorida yang ditambahkan pH juga mempengaruhi dan semakin tinggi. Terlihat pada penambahan koagulan feri klorida 854 ppm pH mencapai 8,45. Hasil ini masih lebih baik dari penambahan feri klorida pada 610 ppm untuk dijadikan patokan untuk proses selanjutnya. Menggunakan koagulan feri klorida 366 ppm sampai 854 ppm mengalami kenaikan terus menerus. Peningkatan pH ini disebabkan semakin banyak penambahan feri klorida pada limbah dan juga pada penambahan kaustik soda sebagai penetral juga mempengaruhi kenaikan pH, maka muatan-muatan positif koagulan semakin mampu mengikat muatan negatif pada partikel limbah.

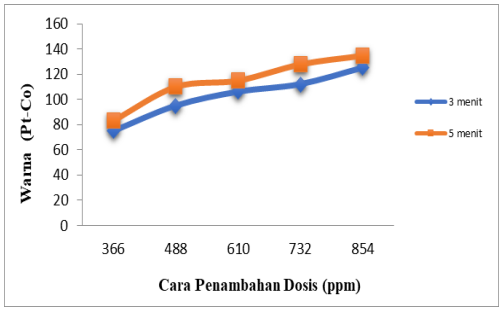
Analisa Pengaruh Dosis Koagulan Feri Klorida Terhadap TSS (*Total Suspendid Soild*)



Gambar 3. Pengaruh Dosis Feri Klorida Terhadap TSS Pada Berbagai Waktu Pengendapan

Berdasarkan Gambar 3 dari grafik di atas menunjukkan bahwa TSS awal sampai penambahan feri klorida 366 ppm dan 732 ppm selama 3 menit mengalami penurunan yang drastis hingga mendapatkan 9 mg/L. Sedangkan pengadukan cepat waktu yang sama selama 3 menit di 610 ppm mengalami penurunan hingga 6 mg/L, itu menunjukkan sangat jauh dari baku mutu air limbah. Pada penambahan 488 ppm dan 854 ppm hasilnya menunjukkan 10 mg/L. Penambahan koagulan feri klorida selama 3 menit ini menunjukkan sudah masuk dalam baku mutu air limbah < 30 mg/L. Pada dosis koagulan feri klorida 366 ppm selama 5 menit mendapatkan hasil 12 mg/L, hasil ini berbeda sedikit dengan hasil pengadukan selama 3 menit tetapi masih masuk dalam baku mutu air limbah. Penambahan feri klorida pada 610 ppm mengalami penurunan yaitu 9 mg/L. Pengadukan selama 5 menit ini menunjukkan hasil TSS sedikit tinggi dibandingkan dengan pengadukan selama 3 menit, kemudian mengalami kenaikan hingga di dapatkan 18 mg/L di dosis 854 ppm. Hasil ini masih baik dari penambahan feri klorida 610 ppm yaitu sebesar 6 mg/L, dan ini bisa menjadikan patokan untuk proses di air limbah. Ada dosis yang mengalami penurunan karena pada proses adsorpsi dan jembatan antar partikel koagulan feri klorida tidak hanya mengadsorpsi atau mengikat koloid yang dimana menyebabkan kadar TSS tinggi namun juga dipengaruhi adanya pewarna yang berlebihan.

Analisa Pengaruh Dosis Koagulan Feri Klorida Terhadap Warna



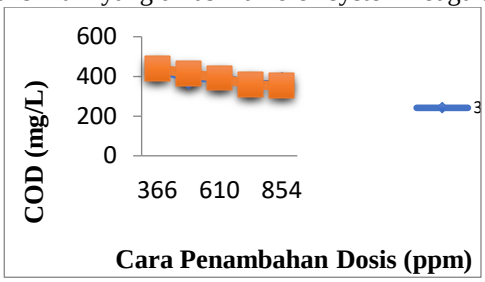
Gambar 4. Pengaruh Dosis Feri Klorida Terhadap Warna Pada Berbagai Waktu Pengendapan

Hasil analisa warna awal diketahui sebesar 650 Pt-Co, cukup jauh bila dibandingkan dengan dengan baku mutu limbah air imbah yaitu 200 Pt-Co. Dari Gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa warna rata-rata sudah mencapai dibawah 200 Pt-Co. Pada penambahan feri klorida 366 ppm didapatkan uji warna terendah yaitu 75 Pt-Co pada lama pengadukan 3 menit. Hasil warna yang didapatkan pada lama pengadukan 3 menit hingga 5 menit terus bertambah atau mengalami kenaikan hinggan 135 Pt-Co. Uji warna terbaik terdapat pada penambahan 366 ppm selama 3 menit. Selanjutnya, uji warna terbaik didapatkan pada penambahan 366 ppm selama 5 menit yaitu 83 Pt-Co. Kemudian pada penambahan selanjutnya akan terus mengalami kenaikan, tetapi masih masuk dalam baku mutu air limbah yaitu < 200 Pt-Co. Pada grafik tersebut juga menunjukkan bahwa warna semakin besar dari penambahan feri klorida. Peningkatan warna tersebut dikarenakan semakin bertambahnya dosis koagulan, maka semakin sedikit pula molekul zat warna yang terperangkap pada rantai panjang polimer feri klorida. Hal ini diduga pada penambahan dosis feri klorida yang ditambahkan melebihi kebutuhan adsorpsi sehingga kemampuan feri klorida dalam menyerap warna limbah semakin menurun.

Analisa Pengaruh Dosis Koagulan Feri Klorida Terhadap COD (*Chemical of Demand*)

Hasil analisa awal COD diketahui sebesar 1890 mg/L, cukup jauh dibandingkan dengan baku mutu air limbah yaitu sebesar 115 mg/L. Gambar 5 menunjukkan adanya pencapaian nilai setelah proses koagulasi dan flokulasi. Data tersebut menunjukkan bahwa nilai hasil penelitian tidak bisa mencapai baku mutu, masih diatas 115 mg/L. Bahwa nilai COD semakin menurun dari penambahan

dosis yang paling kecil 366 ppm hingga 854 ppm. Semakin banyak penambahan dosis semakin kecil juga nilai COD yang didapatkan dikarenakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik dalam air tinggi. Penurunan ini disebabkan adanya kontak antara limbah terhadap koagulan feri klorida tersebut, semakin banyak dosis yang di berikan pada limbah maka akan terjadi peningkatan suplai oksigen ke dalam air limbah dan juga mikroba lebih sering kontak dengan udara. Konsentrasi COD yang tinggi membuat mikroorganisme mensintesis lebih enzim dengan mempertahankan kemampuan menghilangkan COD dalam beberapa waktu, oleh karena itu mikroorganisme mampu menurunkan COD pada tingkat konsentrasi tinggi sehingga meningkatkan intensitas maksimum yang dihasilkan oleh system koagulasi-flokulasi.



Gambar 5. Pengaruh Dosis Feri Klorida Terhadap COD Pada Berbagai Waktu Pengendapan

Perhitungan Kebutuhan Bahan dan Biaya Keseluruhan

Perhitungan kebutuhan bahan dan biaya koagulan feri klorida liquid, kaustik soda 48%, dan polimer anion dengan dosis yang paling efektif yaitu 610 ppm dengan pengadukan cepat 150 rpm selama 3 menit dan pengadukan lambat 100 rpm selama 2 menit yang ditambahkan dengan polymer anion, kemudian dilanjutkan dengan proses pengendapan selama 5 menit pada pengolahan air limbah tekstil probolinggo adalah sebagai berikut :

❖ Perhitungan kebutuhan koagulan $FeCl_3$ 24,4%, yaitu :

1. Volume air limbah setiap hari
   ± 3.000 m^3 = 3.000.000 liter
2. Dosis Optimum
   610 ppm = 610 mg/l = 2,5 ml
3. Kebutuhan koagulan $FeCl_3$ per hari
   0,0025 l x 3.000.000 l = 7.500 L/hari
4. Biaya bahan koagulan $FeCl_3$ per hari
   Harga $FeCl_3$ = Rp. 1.000,-/l

$$Biaya\ Kebutuhan\ FeCl3 = \frac{7.500/\text{hari}}{1\ \text{l}} \times Rp\ 1.000 = Rp\ 7.500.000/hari$$

Jadi, kebutuhan inject koagulan $FeCl_3$ 24,4% per hari sebanyak 7.500 l/hari sebesar Rp.7.500.000,-. Diketahui perbulan kebutuhan $FeCl_3$ sebesar 225.000 l/bulan sebesar Rp. 225.000.000,-.

❖ Perhitungan kebutuhan biaya kaustik soda 48 %, sebagai berikut :

1. Volume air limbah setiap hari
   ± 3.000 m^3 = 3.000.000 liter
2. Dosis Optimum kaustik soda 48%
   480 ppm = 480 mg/l = 1 ml
3. Kebutuhan kaustik soda 48% per hari
   0,001 l x 3.000.000 l = 3.000 l/hari
4. Biaya bahan kaustik soda 48% per hari

Harga kaustik soda 48% = Rp. 5.000,-/l

$$Biaya\ kebutuhan\ kaustik\ soda\ 48\% = \frac{3.000\ l/hari}{1\ l} \times Rp\ 5.000$$
$$= Rp\ 15.000.000\ /hari$$

Jadi, kebutuhan inject kaustik soda 48% sebagai penetral pH per hari sebanyak 3.000 l/hari sebesar Rp 15.000.000. Diketahui perbulan kebutuhan kaustik soda 48% sebesar 90.000 l/bulan sebesar Rp 450.000.000.

❖ Perhitungan kebutuhan biaya polimer anion, yaitu :

1. Volume air limbah setiap hari
   ± 3.000 m^3 = 3.000.000 liter
2. Dosis Optimum polimer anion
   2,5 ppm = 2,5 mg/l = 2,5 ml
3. Kebutuhan polimer anion per hari
   0,0025l x 3.000.000 l = 7.500 l = 7,5 kg dalam 1.000 l
   Biaya polimer anion per hari
   Harga polimer anion = Rp. 60.000,-/kg
4. Biaya kebutuhan polimer anion/hari
   $Biaya\ kebutuhan\ polimer\ anion = \frac{7{,}5\ kg/hari}{1\ l} \times Rp\ 60.000 = Rp\ 450.000/hari$

Jadi, kebutuhan inject polimer anion per hari sebanyak 7,5 kg/hari sebesar Rp 450.000. Diketahui perbulan kebutuhan polimer anion sebesar 225 kg/bulan sebesar Rp. 13.500.000.

❖ Total kebutuhan keseluruhan untuk proses limbah tekstil di probolinggo selama 1 bulan, sebagai berikut :

Koagulan Feri Klorida 24,4%	Rp 225.000.000
Kaustik Soda 48%	Rp 450.000.000
Polimer Anion	Rp 13.500.000 +
Total	Rp 688.500.000

KESIMPULAN

Dari hasil yang diperoleh dari penelitian yang saya lakukan maka dapat di simpulkan bahwadosis koagulan terbaik terdapat pada 610 ppm, karena di dosis 366 dan 488 ppm ada flok yang belum turun sempurna dan pada dosis 732 dan 854 ppm filtrat berwarna putih keruh disebabkan adanya flok pecah. Total biaya dalam memproses air limbah tekstil dengan volume limbah 3000 m^3 di probolinggo selama 1 bulan adalah Rp. 688.500.000.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Tekstil P, Pulau DI. Deindustrialisasi Pada Industri Tekstil Dan Produk Tekstil Di Pulau Jawa. Deindustrialisasi Pada Ind Tekst Dan Prod Tekst Di Pulau Jawa. 2013;6(1):106–19.
[2] Rusydi AF, Suherman D, Sumawijaya N. Pengolahan Air Limbah Tekstil Melalui Proses Koagulasi – Flokulasi Dengan Menggunakan Lempung Sebagai Penyumbang Partikel Tersuspensi. Arena Tekst [Internet]. 2016;31(2):105–14. Available from: https://media.neliti.com/media/publications/54056-ID-pengolahan-air-limbah-tekstil-melalui-pr.pdf
[3] Ikae B. Zat Warna. 2009;6–24.
[4] Siti Norjannah 2015. Keefektifan Dosis Koagulan Feri Klorida Dalam Menurunkan Kadar Total Suspended Solids (TSS) Pada Air Limbah Batik Brotoseno Masaran Sragen. 2015;(December):2–4.
[5] Silaban D. Efektivitas Variasi Dosis Ferri Klorida (Fecl3) Sebagai Koagulan Dalam

Menurunkan Kadar Kadmium (Cd) Pada Air Lindi Tpa Jatibarang Semarang. J Kesehat Masy Univ Diponegoro. 2017;5(1):438–43.

[6] Ge J, Guha B, Lippincott L, Cach S, Wei J, Su TL, et al. Challenges of arsenic removal from municipal wastewater by coagulation with ferric chloride and alum. Sci Total Environ [Internet]. 2020;725:138351. Available from: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138351

[7] Ayu Larasati D. Efektivitas Ferri Klorida (Fecl3)Dalam Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Limbah Cair Laundry. Vol. 5, ayu larasati (e-Journal) (e-Journal). 2017. 479–491 p.

[8] Wirandani MY. Pengolahan Lindi Menggunakan Metode Koagulasi Flokulasi dengan Koagulan FeCl 3 (Ferric Chloride) DAN AOPs (Advanced Oxidation Process) DENGAN Fe-H 2 O 2 Studi Kasus : TPA Jatibarang. 2017;6(1).

[9] Tang S, Zhang Z, Zhang X. C*oupling in-situ ozonation with ferric chloride addition for ceramic ultrafiltration membrane fouling mitigation in wastewater treatment: Quantitative fouling analysis*. J Memb Sci [Internet]. 2018;555(February):307–17. Available from: https://doi.org/10.1016/j.memsci.2018.03.061