

ANALISIS PENGGUNAAN KOAGULAN PADA PENGOLAHAN HARD WATER DENGAN METODE KOAGULASI FLOKULASI DI PT PETROKIMIA GRESIK

Erika Amalia Putri¹, Rizmaya Dwilia Rahayu¹, Yanty Maryanty¹, Very Hidayat²

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

²PT Petrokimia Gresik, Jl. Jend. Ahmad Yani, Gresik 61119, Indonesia

erikaamaliaputri9@gmail.com ; yanty.maryanty@polinema.ac.id

ABSTRAK

PT Petrokimia Gresik membutuhkan *soft water* dalam proses produksi. Amonia, pupuk Urea, dan air umpan boiler dengan mengubah *hard water* dari Sungai Bengawan Solo dan Sungai Brantas (pH 7-8,5 dan total *hardness* maksimal 220) menjadi *soft water* (pH 9 – 10 dan total *hardness* maksimal 80 ppm). *Treatment* yang dilakukan yaitu dengan penambahan koagulan untuk mengendapkan partikel dengan cara mengikat kotoran atau partikel di dalam air. Koagulan yang digunakan pada penelitian ini adalah kapur, *polyelectrolyte*, dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh jenis koagulan, konsentrasi koagulan, dan waktu pengadukan lambat yang efektif pada pengolahan *hard water*. Penelitian ini dilakukan dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 1 menit, pengadukan lambat 30 rpm selama 20; 40; 60 (menit). Variabel yang digunakan yaitu konsentrasi koagulan kapur 80; 86,8; 90 (ppm), *polyelectrolyte* 0,73; 0,83; 0,93 (ppm), PAC 25; 31; 37 (ppm), serta waktu pengadukan lambat 20, 40, dan 60 menit. Analisis yang digunakan meliputi TSS, *turbidity*, pH, total *hardness*, COD, dan BOD. Kualitas *soft water* yang dihasilkan sudah memenuhi standar yang diharapkan yaitu pada konsentrasi *polyelectrolyte* 0,83 ppm dan kapur 86,8 ppm. Berdasarkan penelitian diperoleh konsentrasi optimum koagulan *polyelectrolyte* 0,73 ppm dan kapur 80 ppm dengan waktu pengadukan lambat 60 menit.

Kata kunci: kapur, koagulan, koagulasi-flokulasi, PAC, *polyelectrolyte*

ABSTRACT

PT Petrokimia Gresik requires soft water in the production process. Ammonia, urea fertilizer, and boiler feed water by changing hard water from the Bengawan Solo River and Brantas River (pH 7–8.5 and a maximum total hardness of 220) into soft water (pH 9–10 and a maximum total hardness of 80 ppm). The treatment is carried out by adding coagulants to precipitate particles by binding dirt or particles in the water. The coagulants used in this research were lime, polyelectrolyte, and polyaluminium chloride (PAC). The aim of this research is to determine the effect of coagulant type, coagulant concentration, and effective slow stirring time on hard water processing. This research was carried out with fast stirring at 100 rpm for 1 minute and slow stirring at 30 rpm for 20; 40; and 60 minutes. The variables used are lime coagulant concentration 80; 86.8; 90 (ppm), polyelectrolyte 0.73; 0.83; 0.93 (ppm), PAC 25; 31; 37 (ppm), as well as slow stirring times of 20, 40, and 60 minutes. The analysis used includes TSS, turbidity, pH, total hardness, COD, and BOD. The quality of the soft water produced meets the expected standards, namely a polyelectrolyte concentration of 0.83 ppm and a lime concentration of 86.8 ppm. Based on research, the optimum concentration of polyelectrolyte coagulant was 0.73 ppm and lime was 80 ppm, with a slow stirring time of 60 minutes.

Keywords: lime, coagulan, coagulation-flocculation, PAC, *polyelectrolyte*

Corresponding author: Yanty Maryanty

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: yanty.maryanty@polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Raw water atau air baku yang dibutuhkan PT Petrokimia Gresik didapat dari Sungai Bengawan Solo dan Sungai Brantas. *Raw water* tersebut nantinya akan dialirkan ke *water intake* untuk mengolah *raw water* yang memiliki *turbidity* 500-10.000 NTU menjadi *hard water* dengan *turbidity* maksimal 5 NTU. Dalam pengolahan *raw water* menjadi *soft water* akan melalui 2 tahap dengan proses yang sama diantaranya koagulasi, flokulasi, sedimentasi, dan filtrasi dimana pada proses pertama akan menghasilkan *hard water* sedangkan proses kedua akan menghasilkan *soft water*. Hal tersebut dilakukan karena pengolahan air ini mencakup untuk keseluruhan Pabrik di PT Petrokimia Gresik dan hanya beberapa proses saja yang membutuhkan karakteristik air *soft water* salah satunya Pabrik I PT Petrokimia Gresik. *Hard water* adalah air yang masih mengandung kalsium dan magnesium. Penggunaan *hard water* pada industri merupakan hal yang dihindari karena cenderung membentuk kerak pada peralatan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu pengolahan untuk mengubah *hard water* menjadi *soft water*. *Soft water* adalah air yang telah dikurangi kadar kalsium dan magnesium di dalamnya, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai air proses Produksi Amonia, pupuk Urea, dan air umpan boiler. Air proses merupakan komponen utama dalam keberlangsungan industri dimana air tersebut menjadi umpan utama untuk unit boiler [1]. Untuk memproduksi *soft water*, ditambahkan koagulan yang berfungsi untuk menghilangkan kekeruhan dalam air dan mengendapkan partikel dengan cara mengikat partikel dalam air. Koagulan yang digunakan yaitu larutan kapur dan larutan *polyelectrolyte*. Kualitas *soft water* yang diharapkan yaitu pada rentang pH 9-10 dan total *hardness* maksimal 80 ppm.

Penambahan dosis koagulan akan menyebabkan rendahnya nilai kesadahan yang diperoleh. Dimana nilai optimum koagulan terjadi pada saat dosis koagulan 43 mg/l dengan nilai kesadahan paling rendah sebesar 51,5 mg/l. Akan tetapi, pada saat penambahan dosis koagulan diatas 43 mg/l akan menimbulkan kerak dalam bentuk endapan CaCO_3 sehingga dapat menyebabkan korosi pada suhu tinggi [2].

Penggunaan koagulan pada Departemen Produksi IA PT Petrokimia Gresik masih harus dilakukan evaluasi, karena pada prosesnya penggunaan koagulan masih menggunakan takaran secara manual. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jenis koagulan, konsentrasi Koagulan, dan mengetahui waktu pengadukan lambat yang efektif dalam menurunkan kadar *total hardness* dan meningkatkan kadar pH, serta menganalisis kualitas *soft water* pada pengolahan *hard water*. Dalam prosesnya dilakukan pengujian dalam skala laboratorium dengan penambahan koagulan yaitu PAC untuk membandingkan dan mendapatkan dosis yang optimal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode penelitian

Metode Penelitian yang digunakan merupakan metode penelitian observasional mengenai pengolahan air dan kualitas air dengan pengumpulan data melalui teknik observasi secara langsung. Teknik observasi langsung akan menguji kadar TSS, pH, *turbidity*, total *hardness*, dan BOD dengan metode koagulasi-flokulasi di Laboratorium Produksi IA PT Petrokimia Gresik dan Laboratorium Pengolahan Limbah Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Malang.

2.2 Prosedur Percobaan

a. Metode Koagulasi Flokulasi

Jar test diisi dengan larutan sampel masing-masing sebanyak 800 mL, pH dan kekeruhan larutan awal diukur. Kecepatan dan waktu koagulasi diatur dengan cara *setting* tombol pengatur kecepatan pada 100 rpm dan waktu 1 menit. Koagulan ditambahkan 80; 86,8; 90 (ppm) untuk kapur 0,73; 0,83; 0,93 (ppm) untuk *polyelectrolyte*, dan 25; 31; 37 (ppm) untuk PAC. Tombol "ON" ditekan untuk memulai pengadukan cepat. Pengadukan lambat di-*setting* untuk 30 rpm dan waktu pengadukan selama 20, 40, dan 60 menit. Setelah itu, tombol "OFF". Wadah dibiarkan untuk mengendap selama 30 menit, lalu dilakukan analisis TSS, *turbidity*, pH, total *hardness*, dan BOD.

b. Analisis Kadar TSS

Kertas saring disiapkan dan dipasang dalam *vacuum holder*, sampel sebanyak 50 mL diambil dan dimasukkan dalam gelas *beaker*. Sampel disaring dengan kertas saring sehingga diperoleh residu. Kemudian dibilas dengan *aquadest* dan kertas saring dikeringkan dalam oven 103-105°C selama 1 jam, didinginkan, dan ditimbang hingga berat konstan.

c. Analisis Kadar pH

Alat pH meter disiapkan dan dihidupkan, elektroda dibilas dengan *aquadest*. Lalu elektroda dicelupkan ke dalam sampel dan ditunggu sampai penunjukan stabil. pH yang terbaca dicatat.

d. Analisis Kadar Kekeruhan (*Turbidity*)

Alat *turbidity meter* disiapkan dan dihidupkan, lalu sampel dituang ke dalam *tube* gelas/botol alat *turbidity meter*. Sampel dikocok dengan sempurna sehingga seluruh suspensi yang mengendap tidak terlihat pada dasar. Permukaan gelas dibersihkan dengan tisu. *Tube* gelas dimasukkan ke dalam *sampleholder* alat dan *turbidity* sampel dibaca.

e. Analisis Uji Total *Hardness*

Sampel 50 mL dituangkan dalam erlenmeyer, ditambahkan 0,5 mL *Buffer Hardness*, dan dikocok, lalu ditambahkan 0,2 gram Indikator C, dan dikocok kembali. Dilakukan titrasi dengan EDTA 0,02 N secara perlahan-lahan sampai warna merah menjadi biru.

f. Analisis BOD

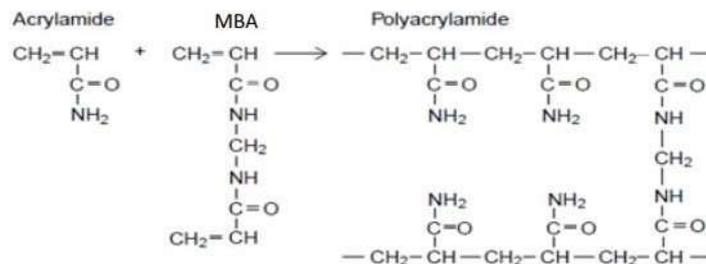
Sampel air dinetralkan hingga pH 7 dengan menggunakan asam atau basa, ditambahkan 2 mL $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan 2 mL *alkali-iodida* lalu dikocok hingga homogen. Endapan dibiarkan mengendap selama 10 menit, larutan jernih dikeluarkan dari botol sebanyak 100 mL dan dipindahkan ke erlenmeyer 500 mL. Sedangkan pada larutan endapan ditambahkan 2 mL H_2SO_4 pekat lalu ditutup dan digoyangkan hingga endapan terlarut, setelah itu dituangkan ke dalam erlenmeyer 500 mL lalu menambahkan indikator kanji 1 – 2 mL. Iodin yang dihasilkan dititrasi dengan larutan tiosulfat 0,025 N. Volume titrasi yang diperoleh sebagai DO_1 dicatat dan larutan induk selama 5 hari disimpan untuk dianalisis sebagai DO_5 .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 *Polyelectrolyte* sebagai Koagulan

Poliakrilamida merupakan salah satu jenis polimer yang dapat digunakan sebagai flokulan atau koagulan pada proses pengolahan limbah. Polimer ini juga merupakan salah satu komponen zat pelapis pada industri kertas, zat aditif pada industri tekstil, substansi

analisis teknis pada *gel permeation chromatographyelectrophoresis* [3]. Pengikatan silang akrilamida dan Metilen Bisakril Amida (MBA).



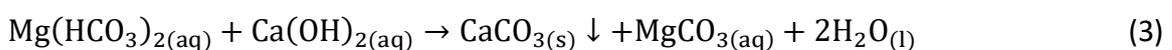
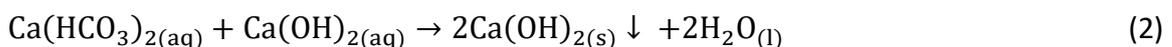
Gambar 1. Reaksi Polimerisasi Poliakrilamida

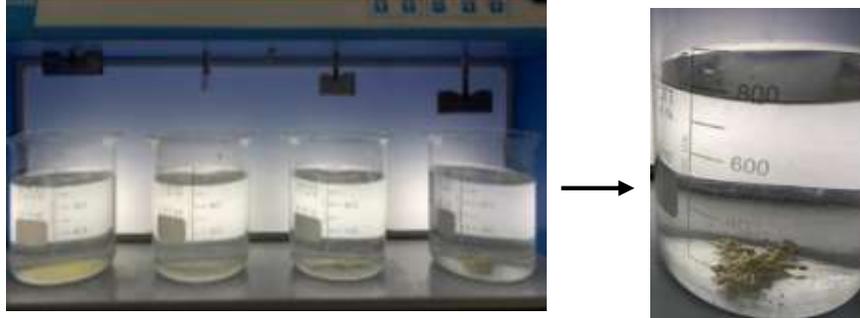
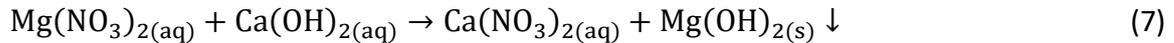
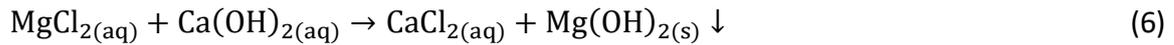
Poliakrilamida dapat disintesis dari monomer larutan encer akrilamida dalam air (1-10%) dengan katalis radikal bebas persulfate dan suatu amina tersier sebagai *activator*. *Activator* ini menyebabkan terurainya katalis untuk menghasilkan radikal bebas yang memicu polimerisasi. Senyawa-senyawa bifungsional N,N' metilenbisakrilamida (MBA) seringkali digunakan sebagai bahan pengikat silang yang larut dalam air. Jika dua rantai yang terpisah dan bergabung dengan ujung berlawanan dari molekul bisakrilamida yang sama, maka keduanya akan terhubung membentuk jaringan. Kerapatan ikatan silang dalam jaringan ini tergantung pada rasio bisakrilamida terhadap akrilamida [4]. Rantai atom panjang ini dapat mengikat partikel koloid sehingga membentuk flok yang dapat mengendap.

3.2 Kapur sebagai Koagulan

Pada umumnya kesadahan disebabkan oleh logam atau kation bervalensi 2 seperti Fe, Sr, Mn, Ca, dan Mg. Namun, Ca dan Mg adalah penyebab utama kesadahan pada air. Kalsium dalam air dapat membentuk senyawa dengan bikarbonat, sulfat, klorida, atau nitrat, sedangkan magnesium dapat membentuk senyawa dengan bikarbonat, sulfat, atau klorida. Proses pengolahan kesadahan air dilakukan dengan mengurangi atau menghilangkan kation Ca^{2+} dan Mg^{2+} , dan satu metode yang digunakan adalah pengendapan kimia dengan penambahan kapur. Tujuannya adalah mengubah garam kalsium dan magnesium menjadi bentuk yang tidak mudah larut sehingga bisa dipisahkan dari air. Dalam bentuk ini, kalsium (Ca) akan berubah menjadi kalsium bikarbonat [CaCO_3] dan magnesium (Mg) akan berubah menjadi magnesium hidroksida [$\text{Mg}(\text{OH})_2$], yang bisa diendapkan [5].

Reaksi penghilangan kesadahan dengan penambahan kapur (*lime*) sebagai berikut [5]:

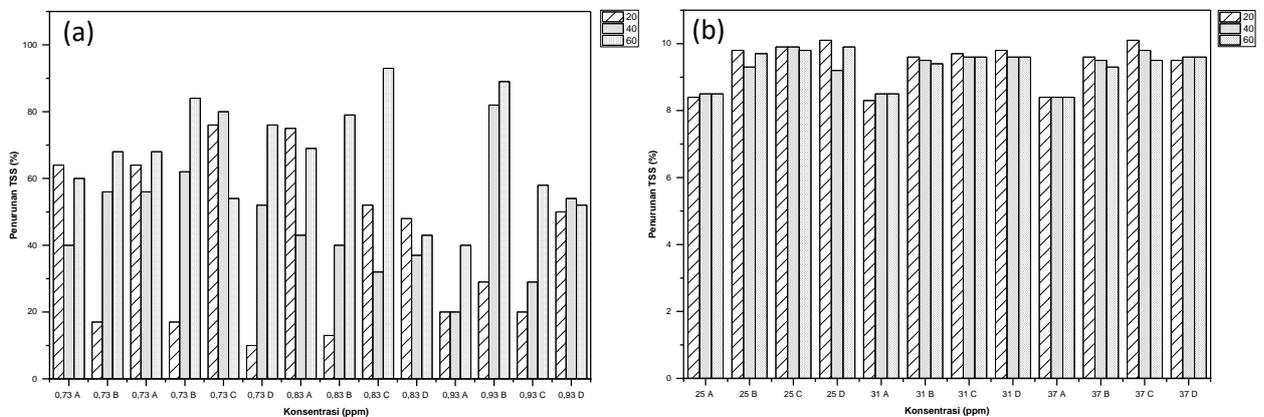




Gambar 2. Hasil penambahan koagulan ditujukan untuk menghasilkan endapan

3.3 Pengaruh Konsentrasi Koagulan terhadap TSS

TSS adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel $2\mu\text{m}$ atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Semakin kecil nilai TSS berarti air terolah semakin jernih. Penambahan konsentrasi koagulan memiliki pengaruh dalam menurunkan kadar TSS, dimana terjadi tarik menarik antara koagulan dengan partikel-partikel koloid yang membentuk flok, sehingga air menjadi lebih jernih [6]. Prinsip proses kerja pereduksian TSS secara umum yaitu adanya pertumbuhan massa flok sehingga berat jenis flok menjadi besar dan akhirnya mengendap [7].



Gambar 3. Persentase Penurunan (a) TSS dengan Koagulan *Polyelectrolyte* (b) TSS dengan Koagulan PAC (Keterangan : A = Kapur 0 ppm, B = Kapur 80 ppm, C = Kapur 86,8 ppm, D = Kapur 90 ppm)

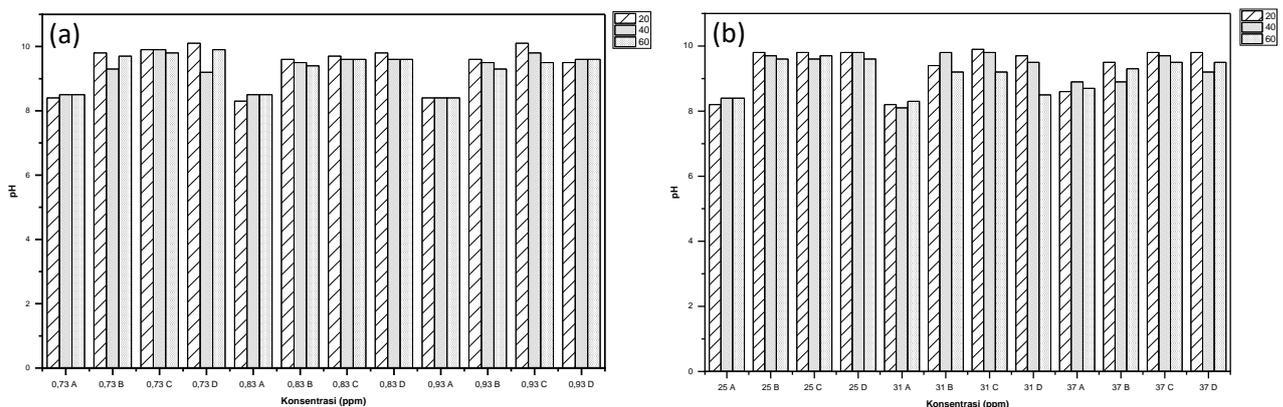
Pada kedua kondisi tersebut diperoleh kondisi optimal TSS pada konsentrasi koagulan *polyelectrolyte* 0,83 ppm dengan konsentrasi kapur 86,8 ppm (waktu pengadukan lambat 60) dengan persentase penurunan sebesar 93%. Sedangkan berdasarkan Gambar 3(b) diperoleh kondisi optimal TSS pada konsentrasi Koagulan PAC 25 ppm dengan konsentrasi kapur 90 ppm (waktu pengadukan lambat 40 menit) dengan persentase penurunan sebesar 92%.

Dari kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa *polyelectrolyte* 0,73 ppm dengan konsentrasi kapur 80 ppm (waktu pengadukan lambat 60) lebih efektif dibandingkan koagulan PAC. Hal ini dikarenakan persentase penurunan TSS untuk koagulan

Polyelectrolyte-kapur lebih besar dibandingkan dengan koagulan PAC- kapur yaitu sebesar 93%. Standar baku mutu air sungai untuk nilai TSS sebesar 50 mg/L. Faktor yang mempengaruhi nilai TSS lebih besar dari baku mutu yaitu masih banyaknya endapan yang terambil pada saat pengambilan sampel [6].

Pada penambahan PAC dengan kadar 100 ppm dan waktu pengadukan antara 2-10 menit, nilai TSS cenderung lebih kecil dan relatif konstan, karena pada penambahan PAC kadar 100 ppm terjadi deflokulasi flok [8]. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan dimana semakin banyak penambahan koagulan, maka nilai TSS akan semakin meningkat yaitu pada rentang 40 hingga 140 mg/L [8].

3.4 Pengaruh Konsentrasi Koagulan terhadap pH



Gambar 4. Hubungan Antara (a) pH dengan Koagulan *Polyelectrolyte* (b) pH dengan Koagulan PAC

Dalam air kapur akan terurai menjadi 2 ion yaitu OH^- dan Ca^{2+} dimana OH^- akan meningkatkan pH air. Namun penggunaan kapur dapat meninggalkan sisa endapan kapur yang dapat mengotori air, hal ini berpengaruh pada nilai *turbidity* dimana dengan penambahan konsentrasi kapur yang besar maka nilai *turbidity* akan semakin tinggi. Tingkat kadar pH untuk air umpan demin harus ditetapkan untuk mencegah terjadinya korosi, umumnya kadar pH berkisar antara 9-10. Apabila pH air terlalu tinggi (diatas 11), hal ini dapat membuat air menjadi lebih berbahaya dan dapat merusak pipa dan sistem perpompaan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya ion hidroksida dalam air yang memicu terjadinya kerusakan pada pipa dan permukaan logam dengan cepat. Oleh sebab itu, perlu diatur pH air agar memiliki nilai pH yang netral atau sedikit basa. Sedangkan, jika pH air terlalu asam, seperti di bawah 9 hal ini akan menghambat proses pemurnian air karena membran filter atau bahan kimia koagulan dapat terkorosi dengan mudah.

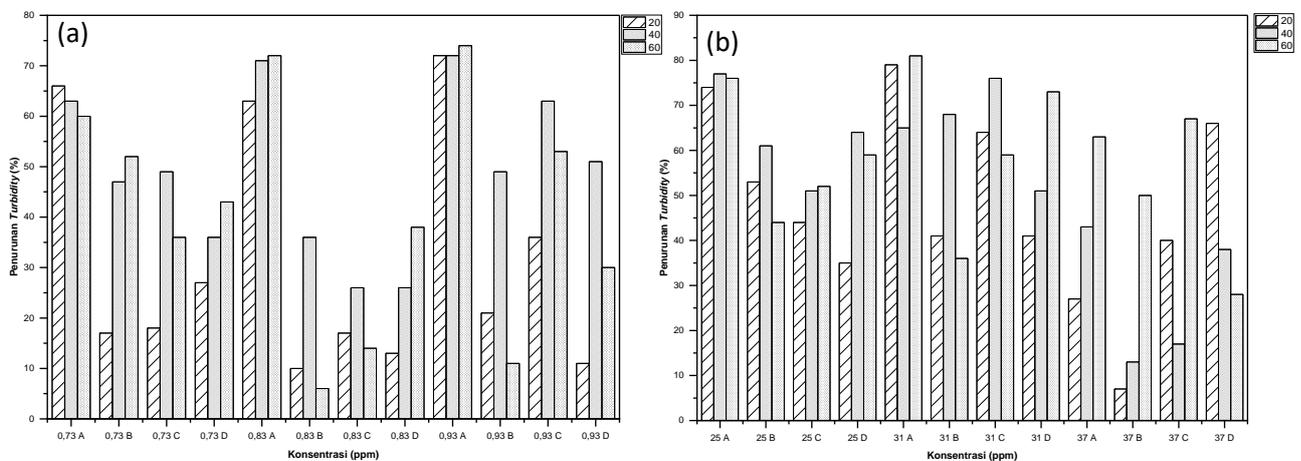
Pada Gambar 4(a) dan 4(b) menunjukkan bahwa setiap penambahan koagulan kapur akan meningkatkan nilai pH, dimana pH yang diperoleh telah memenuhi standar mutu industri. Berdasarkan standar mutu *Lime Softening Unit, soft water* diharapkan berada pada rentang pH 9-10. Hal tersebut dikarenakan kapur bersifat basa dan dapat menaikkan pH air. Semakin banyak konsentrasi kapur yang ditambahkan ke dalam air, maka pH akan semakin meningkat juga.

Pada kedua kondisi tersebut diperoleh kondisi optimal pH pada konsentrasi koagulan *polyelectrolyte* 0,73 ppm dengan kapur 80 ppm (waktu pengadukan lambat 20

menit) dan pada konsentrasi koagulan PAC 25 ppm dengan kapur 80 ppm (waktu pengadukan lambat 20 menit). Pada kedua kondisi tersebut dikatakan optimal, hal ini dikarenakan kadar pH yang diperoleh sudah memenuhi standar baku serta berada pada konsentrasi kapur dan waktu pengadukan lambat yang sama. Nilai pH air sungai hasil penjernihan akan semakin rendah dari pH sekitar 7 menjadi 5 dengan bertambahnya kadar PAC pada kisaran 10-100 ppm. Hal ini disebabkan semakin besar kadar PAC yang ditambahkan dalam sampel air, semakin banyak ion H^+ yang dilepaskan dalam air [8]. Nilai pH air hasil yang diperoleh setelah penambahan PAC dan poliakrilamida yaitu pada rentang pH 6-7. Hal ini disebabkan terdapatnya ion hidrogen bebas (H^+) yang dihasilkan dari reaksi hidrolisis yaitu ketika koagulan bereaksi dengan air. Maka semakin banyak koagulan yang digunakan maka penurunan pH akan semakin tinggi [9]. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan bahwa penggunaan koagulan PAC tanpa penambahan kapur akan menurunkan pH dengan rata-rata nilai pH 8, sedangkan penggunaan koagulan kapur akan meningkatkan nilai pH pada rentang 9-10.

3.5 Pengaruh Konsentrasi Koagulan terhadap *Turbidity*

Kekeruhan adalah ukuran yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur keadaan air baku dengan NTU, JTU, atau FTU. Kekeruhan ini disebabkan oleh adanya benda tercampur atau benda koloid di dalam air. Koagulan yang memiliki kualitas bagus adalah koagulan yang mampu menurunkan *turbidity* air limbah sekecil mungkin dengan dosis yang rendah sehingga ekonomis.



Gambar 5. Persentase Penurunan (a) *Turbidity* dengan Koagulan *Polyelectrolyte* (b) *Turbidity* dengan Koagulan PAC

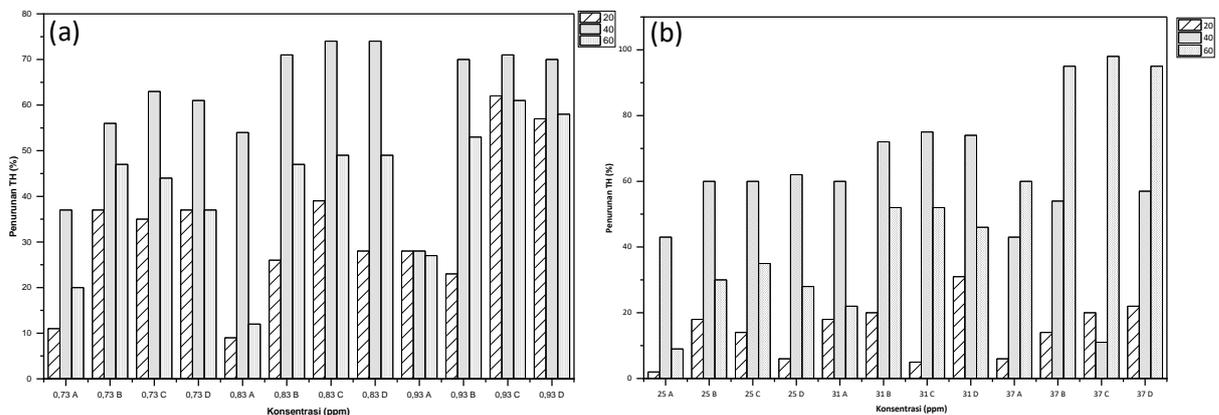
Standar baku mutu air sungai untuk nilai *turbidity* sebesar 5 NTU. Berdasarkan Gambar 5(a) diperoleh kondisi optimal *turbidity* pada konsentrasi koagulan *polyelectrolyte* 0,93 ppm dengan kapur 0 ppm (waktu pengadukan lambat 60 menit). Berdasarkan Gambar 5(b) diperoleh kondisi optimal *turbidity* pada konsentrasi koagulan PAC 31 ppm dengan kapur 0 ppm (waktu pengadukan lambat 60 menit). Dari kedua kondisi tersebut PAC 31 ppm dengan kapur 0 ppm (waktu pengadukan lambat 60 menit) dapat dikatakan lebih optimal dari *polyelectrolyte*. Koagulan PAC dapat menurunkan kadar *turbidity* hingga 5 NTU, hal tersebut sesuai dengan standar baku mutu *turbidity* untuk air sungai sebesar 5 NTU. Sehingga dapat disimpulkan bahwa koagulan PAC dapat menurunkan *turbidity* yang

lebih optimal. Dalam hal ini, senyawa yang terdapat di dalam PAC lebih banyak berikatan dengan partikel yang membentuk flok. Senyawa A_2O_3 pada PAC ketika berikatan dengan air akan membentuk reaksi yang cepat dan menghasilkan garam dan asam yang mengakibatkan penurunan kekeruhan sangat cepat. Reaksi inilah yang menyebabkan PAC dapat berikatan dengan partikel dalam air dengan cepat [10].

Penelitian yang telah dilakukan sesuai dengan penelitian Rahimah Zikri dkk (2016) yang dilakukan dimana semakin banyak PAC yang ditambahkan, maka tingkat kekeruhan akan semakin tinggi sebesar 28,4 NTU dan 2,78 NTU. Semakin banyak penambahan massa koagulan maka semakin tinggi *turbidity* nya baik menggunakan koagulan kapur maupun PAC. Rata-rata nilai *turbidity* pada penelitian ini sebesar 5 NTU. Hal ini disebabkan sampel yang digunakan hampir tidak mempunyai pengotor berupa kekeruhan serta air yang dipakai berupa air bersih, Hal ini membuat kekeruhan rendah, sehingga sukar terjadi pembentukan flok. Semakin sedikit partikel, maka tumbukan antar partikel akan semakin kecil, oleh sebab itu semakin sedikit juga kesempatan flok untuk berakumulasi [11].

3.6 Pengaruh Konsentrasi Koagulan terhadap *Total Hardness*

Penambahan koagulan dapat menurunkan kadar total *hardness* karena koagulan yang bermuatan positif akan berikatan dengan koloid yang bermuatan listrik negatif sehingga terjadi destabilisasi dan membentuk flok yang mengendap, maka kadar ion penyebab kesadahan (Ca^{2+} dan Mg^{2+}) air menjadi berkurang. Karakteristik *soft water* yang diharapkan yaitu nilai total *hardness* maksimal 80 ppm sebagai $CaCO_3$. Jika total *hardness* terlalu tinggi maka akan menimbulkan kerak karena adanya pengendapan. Jika sebaliknya, maka akan terjadi korosi pada pipa karena tidak terdapat garam-garam (Ca^{2+} dan Mg^{2+}) yang terlarut dalam air [12]



Gambar 6. Persentase Penurunan (a) *Total Hardness* dengan Koagulan *Polyelectrolyte* (b) *Total Hardness* dengan Koagulan PAC

Berdasarkan Gambar 6(a) diperoleh kondisi optimal total *hardness* pada konsentrasi koagulan *polyelectrolyte* 0,83 ppm dengan kapur 86,8 ppm (waktu pengadukan lambat 40 menit). Berdasarkan Gambar 6(b) diperoleh kondisi optimal total *hardness* pada konsentrasi koagulan PAC 37 ppm dengan kapur 86,8 ppm (waktu pengadukan lambat 60 menit). Dari kedua kondisi tersebut koagulan PAC 37 ppm dengan kapur 86,8 ppm (waktu pengadukan lambat 60 menit) dapat dikatakan lebih optimal dari koagulan *polyelectrolyte*.

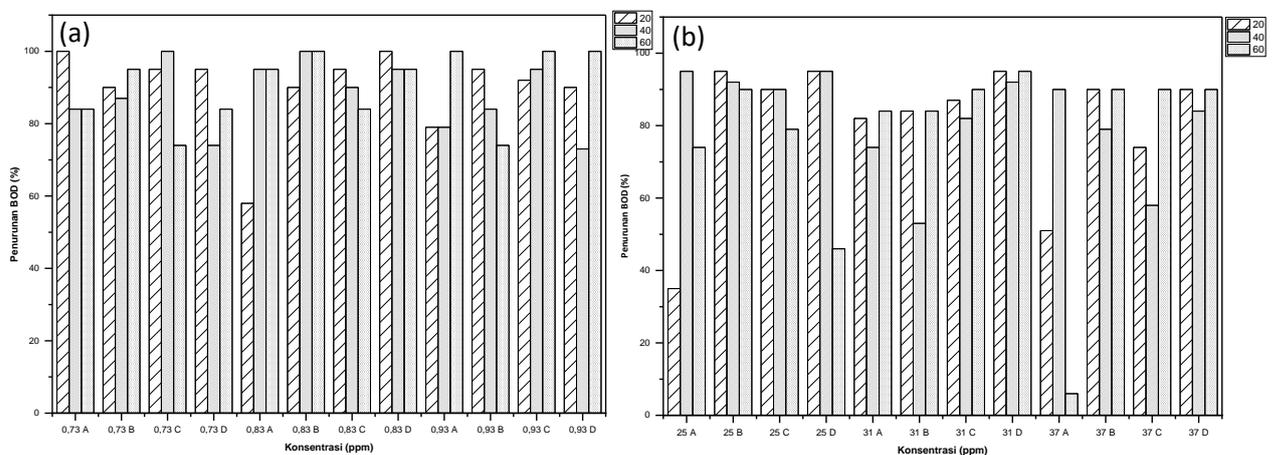
Hal ini dikarenakan nilai persentase penurunan total *hardness* untuk koagulan PAC lebih besar dari *polyelectrolyte* yaitu sebesar 98,2%.

Untuk kebutuhan air umpan proses, diharapkan *softwater* yang dihasilkan memiliki kadar *total hardness* maksimal 80 ppm CaCO_3 . Faktor yang mempengaruhi analisis total *hardness* diantaranya seperti peralatan analisis yang masih belum akurat dan pembacaan pengukuran mL EDTA pada saat titrasi yang tidak terlalu akurat. Kesadahan air pada *softwater* dapat dikategorikan pada tingkat menengah yaitu <80 ppm CaCO_3 , dimana dapat dikatakan air sadah jika nilai *total hardness* sekitar 150-300 ppm CaCO_3 [13].

Penambahan dosis koagulan akan menyebabkan rendahnya nilai kesadahan yang diperoleh. Nilai optimum koagulan PAC terjadi pada saat dosis koagulan 43 ppm dengan nilai kesadahan paling rendah sebesar 51,5 ppm. Akan tetapi, pada saat penambahan dosis koagulan diatas 43 ppm akan menimbulkan kerak dalam bentuk endapan CaCO_3 sehingga dapat menyebabkan korosi pada suhu tinggi [2]. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan dimana semakin banyak penambahan koagulan, maka nilai total *hardness* akan semakin rendah yaitu sebesar 68 ppm untuk PAC dengan konsentrasi 37 ppm dan kapur 86,8 ppm (waktu pengadukan lambat 60 menit).

3.7 Pengaruh Konsentrasi Koagulan terhadap BOD

Pengukuran BOD yang dilakukan terdiri dari inkubasi selama 5 hari (pengujian BOD yang paling umum dilakukan) pada suhu 20°C dan pengukuran oksigen terlarut sebelum dan sesudah inkubasi, dimana penurunan oksigen terlarut selama inkubasi menunjukkan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh sampel air.



Gambar 7. (a) Persentase Penurunan BOD dengan Koagulan *Polyelectrolyte* (b) BOD dengan Koagulan PAC

Berdasarkan Gambar 7(a) diperoleh kondisi optimal BOD pada konsentrasi koagulan *polyelectrolyte* 0,73 ppm dengan kapur 0 ppm (waktu pengadukan lambat 20 menit). Berdasarkan Gambar 7(b) diperoleh kondisi optimal BOD pada konsentrasi koagulan PAC 25 ppm dengan kapur 90 ppm (waktu pengadukan lambat 20 menit). Dari kedua kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa *polyelectrolyte* 0,73 ppm dengan kapur 0 ppm (waktu pengadukan lambat 20 menit) lebih optimal dari PAC. Hal ini dikarenakan nilai persentase

penurunan BOD untuk koagulan *polyelectrolyte* dengan kapur lebih besar dibandingkan koagulan PAC dengan kapur.

Penurunan koagulan kapur dan koagulan PAC dapat menurunkan nilai BOD pada sampel *laundry*, namun dalam penggunaannya, kapur merupakan koagulan yang paling efektif. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan dimana penambahan koagulan dapat menurunkan kadar BOD [11].

3.8 Evaluasi Biaya Koagulan

Biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan koagulan sangat dipengaruhi oleh jumlah koagulan yang digunakan. Ketika koagulan yang digunakan cukup banyak maka biaya yang dikeluarkan untuk pembelian koagulan juga semakin besar. Biaya yang dikeluarkan untuk pembelian koagulan juga berbeda antara koagulan PAC, kapur, dan *polyelectrolyte*. Harga untuk 1 kg PAC sebesar Rp12.000,00, harga untuk 1 kg kapur sebesar Rp1.600,00, sedangkan harga untuk 1 kg *polyelectrolyte* sebesar Rp75.000,00.

Menurut Bambang Sugiarto (2007), biaya penggunaan koagulan alum dan PAC di IPA Jurug PDAM Surakarta, membuktikan bahwa koagulan PAC lebih ekonomis penggunaannya dari pada koagulan alum sebesar Rp10,00 per m³ debit olahan [15]. Biaya yang dikeluarkan untuk pembelian Koagulan PAC 25 ppm sebesar Rp300 per m³. Biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan Koagulan Kapur 80 ppm sebesar Rp128 per m³. Sedangkan Biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan Koagulan *Polyelectrolyte* 0,73 ppm sebesar Rp54,69 per m³. Berdasarkan perhitungan biaya tersebut dapat diketahui bahwa biaya penggunaan koagulan *polyelectrolyte* lebih optimal dibandingkan dengan PAC. Hal ini dikarenakan dosis *polyelectrolyte* yang dibutuhkan lebih sedikit dari PAC.

3.9 Pengaruh Pengadukan Lambat terhadap Penambahan Koagulan

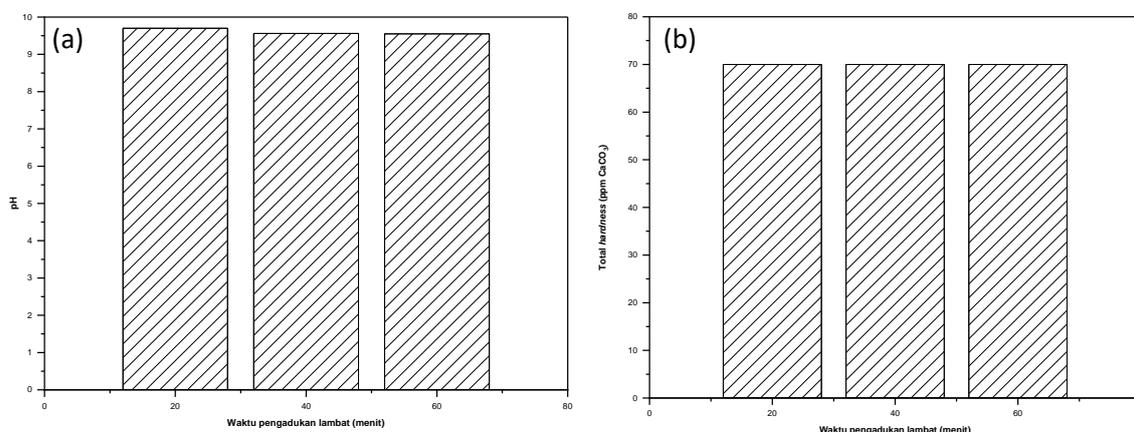
Waktu pengadukan lambat optimum akan menghasilkan jarak antar partikel yang paling dekat untuk menghasilkan kontak, sering terjadi tumbukan antarpartikel, dan akan dihasilkan flok dengan ukuran terbesar dan jumlah terbanyak. Penambahan waktu pengadukan lambat tidak akan lagi memperbesar ukuran flok ketika waktu pengadukan lambat optimum telah tercapai, hal ini dikarenakan flok berada pada kondisi jenuh, dimana flok tersebut akan terurai kembali menjadi partikel kecil yang sulit mengendap [14].

Berdasarkan percobaan didapatkan waktu pengadukan lambat 60 menit menghasilkan nilai yang paling banyak memenuhi standar, endapan yang telah terbentuk menghasilkan ukuran terbesar, dan belum terurai kembali. Hal tersebut dikarenakan ukuran flok yang terbentuk semakin besar dan menggumpal seiring dengan semakin lamanya waktu pengadukan lambat yang diberikan. Lama waktu dan dosis koagulan tawas mempengaruhi penurunan kadar COD dan fosfat pada limbah dengan waktu pengadukan selama 30 menit memberikan hasil yang lebih baik daripada waktu pengadukan selama 15 menit [16], dikarenakan semakin lama waktu pengadukan lambat, maka ukuran flok yang terbentuk semakin besar dan menggumpal. Sehingga pada penelitian ini diperoleh waktu pengadukan lambat optimum yaitu pada waktu 60 menit.

3.10 Penentuan Konsentrasi Koagulan yang Optimum

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, diperoleh konsentrasi koagulan optimum berada pada konsentrasi koagulan *polyelectrolyte* 0,73 ppm dengan kapur 80 ppm pada pengadukan lambat 60 menit. Konsentrasi koagulan *polyelectrolyte* 0,83 ppm dengan

kapur 86,8 ppm berdasarkan hasil penelitian pada skala laboratorium ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh Waktu Pengadukan Lambat terhadap (a) pH pada Konsentrasi *Polyelectrolyte* 0,83 ppm dengan kapur 86,8 ppm (b) Total *Hardness* pada Konsentrasi *Polyelectrolyte* 0,83 ppm dengan kapur 86,8 ppm

Berdasarkan Gambar 8(a) diketahui bahwa semakin lama waktu pengadukan lambat, maka pH air mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena ion H^+ akan bersaing dengan *polyelectrolyte* sehingga melemahkan gaya tarik elektrostatis antara polimer bermuatan positif dan koloid bermuatan negatif di dalam air. Berdasarkan Gambar 8(b) waktu pengadukan lambat tidak mempengaruhi total *hardness*. Hal ini dikarenakan pada waktu pengadukan 20 menit, endapan $CaCO_3$ dan $Mg(OH)_2$ sudah terbentuk secara maksimal sehingga dengan adanya penambahan waktu pengadukan lambat tidak akan memperbesar ukuran flok. Pada gambar tersebut membuktikan bahwa konsentrasi koagulan *polyelectrolyte* 0,83 ppm dengan kapur 86,8 ppm yang ditetapkan oleh industri sudah sesuai dengan standar baku *soft water* yang diharapkan yaitu pada pH dengan rentang 9-10 dan total *hardness* maksimal 80 ppm $CaCO_3$.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa jenis koagulan *polyelectrolyte* lebih efisien dibandingkan PAC baik dari segi analisis data maupun biaya. Penambahan konsentrasi koagulan kapur, *polyelectrolyte*, maupun PAC akan mempengaruhi nilai TSS, pH, *Turbidity*, Total *Hardness*, COD, dan BOD. Konsentrasi koagulan optimum berada pada konsentrasi koagulan *polyelectrolyte* 0,73 ppm dengan kapur 80 ppm. Waktu pengadukan lambat yang efektif pada pengolahan *hard water* yaitu pada lamanya pengadukan 60 menit. Konsentrasi koagulan yang telah ditetapkan oleh PT Petrokimia Gresik bagian *Lime Softening Unit* yaitu koagulan *polyelectrolyte* 0,83 ppm dengan kapur 86,8 ppm telah memenuhi kualitas yang diharapkan dengan rentang pH 9-10 dan total *hardness* maksimal 80 ppm sebagai $CaCO_3$.

REFERENSI

- [1] A. S. Suryandari, A. Mustain, D. W. Pratama, dan I. Maula, "Studi Aktivitas Reaksi Fotokatalisis Berbasis Katalis TiO_2 -Karbon Aktif Terhadap Mutu Air Limbah Power Plant," *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, vol. 3, no.2, 2019.
- [2] Mujariah, P. H. Abram, dan M. R. Jura, "Penggunaan Gel Lidah Buaya (Aloe vera) Sebagai Koagulan Alami dalam Penjernihan Air Sumur di Desa Sausu Tambu Kecamatan Sausu," *Jurnal Akademika Kimia*, vol. 5, no.1, hal. 16–22, Feb 2016.
- [3] E. Sulistyawati, "Polimerisasi Akrilamida dengan Metode, Mixed Solvent Precipitation menggunakan inisiator Kalium Persulfat," *Eksergi*, vol. X, no. 1, 2010.
- [4] P. Calvert, "Electroactive Polymer Gels," Mexico, 2019.
- [5] N.I. Said dan Ruliasih, "Penghilangan Kesadahan di Dalam Air Minum". 2009.
- [6] M. Rosmilya D, L. Isyarah, P. Pamungkas, dan E. Fitriani, "Analisis TSS (Total Suspended Solid) dan TDS (Total Disolved Solid)", Semarang, 2014.
- [7] A. Takwanto, A. Mustain, dan H. P. Sudarminto, "Penurunan Kandungan Polutan pada Lindi dengan Metode Elektrokoagulasi-Adsorpsi Karbon Aktif," *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, vol. 2, no. 1, 2008.
- [8] A. Budiman, C. Wahyudi, W. Irawati, dan H. Hindarso, "Kinerja Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) dalam Penjernihan Air Sungai Kalimas Surabaya Menjadi Air Bersih," *Widya Teknik*, vol. 7, no 1, hal. 25–34, 2008.
- [9] H. R. Susanto, dan J. Tjandra, "Penetapan Dosis Koagulan dan Flokulan Pada Proses Penjernihan Air Untuk Industri," *Jurnal Kimia Valensi*, vol. 1, 2009.
- [10] A. Nur, R. Anugrah, dan Z. Farnas, "OP-023 Efektivitas dan Efisiensi Koagulan Poly Aluminium Chloride (OAC) Terhadap Performance IPA KTK PDAM Solok," 2016.
- [11] Z. Rahimah, H. Heldawati, dan I. Syauqiah, "Pengolahan Limbah Deterjen dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Koagulan Kapur dan PAC," *Konversi*, vol. 5, no. 2, hal. 13, 2018.
- [12] D. L. N. Rao, "Coagulation and Flocculation of Industrial Wastewater by Chitosan," *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, vol. 2, no. 7, 2015
- [13] S. Rahayu dan Tontowi, "Penelitian Kualitas Air Bengawan Solo pada Saat Musim Kemarau," Bandung, 2009.
- [14] Husnah, "Pengaruh Waktu Pengadukan Pelan pada Koagulasi Air Rawa". *Jurnal Redoks*. Vol. 1, no.1, Universitas PGRI Palembang, 2016.
- [15] S. Bambang, "Perbandingan Biaya Penggunaan Koagulan Alum dan PAC di IPA Jurug PDAM Surakarta" Surakarta, 2007.
- [16] F. Nur, "Pengaruh Waktu Pengadukan dan Dosis Koagulan Tawas Terhadap Penurunan Kadar Chemical Oxygen Deman (COD) dan Fosfat pada Limbah Cair Laundry Menggunakan Metode Koagulasi-Flokulasi," Surakarta, 2019.