

Efektivitas Penggunaan Adsorben Zeolit dan Koagulan Poly Aluminium Chloride (PAC) untuk Menurunkan Kandungan Kromium pada Limbah Cair Batik

Avivatu Rizka Chamidah, Djoko Kustono, Muhammad Al-Irsyad*, Marji

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: muhammad.irsyad.fik@um.ac.id

Paper received: 12-8-2023; revised: 27-8-2023; accepted: 28-8-2023

Abstract

Batik liquid waste comes from the process of making batik, especially coloring and flushing. This waste contains chromium which is feared to have an impact on human health and the environment. Based on preliminary tests at the Batik X Industry in Tulungagung Regency, the chromium content was found to be 8.554 mg/L which exceeds the quality standard. Therefore, this research was carried out which aims to determine the effectiveness of using zeolite adsorbents and Poly Aluminium Chloride coagulants (PAC) in reducing the chromium content in batik wastewater. This research method uses experiments with the Posttest-Only Control Design. The independent variables in this study were zeolite and Poly Aluminium Chloride (PAC) with mass variations, while the dependent variable was the chromium content of the waste. Data analysis used the Regression test and the Kruskal Wallis test. Based on the research results, it was found that there was an effect of using zeolite adsorbents and PAC coagulants on reducing the chromium content in batik wastewater. The reduction effectiveness produced by zeolite and PAC are 74.63% and 90.15%. The results of the study also found no significant differences between the zeolite treatments, but there were significant difference in PAC.

Keywords: batik wastewater; chromium; zeolite; poly aluminium chloride

Abstrak

Limbah cair batik berasal dari proses pembuatan batik khususnya pewarnaan dan pelorodan. Limbah ini memiliki kandungan kromium sehingga dikhawatirkan berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan. Berdasarkan uji pendahuluan di Industri Batik X Kabupaten Tulungagung didapatkan kandungan kromium sebesar 8,554 mg/L dimana melebihi baku mutu. Oleh sebab itu, dilakukan penelitian ini yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan adsorben zeolit dan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dalam menurunkan kandungan kromium pada limbah cair batik. Metode penelitian ini menggunakan eksperimen dengan rancangan *Posttest-Only Control Design*. Variabel bebas penelitian ini yaitu zeolit dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dengan variasi massa, sedangkan variabel terikat yaitu kadar kromium limbah. Analisis data menggunakan uji Regresi dan uji *Kruskal Wallis*. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa ada pengaruh penggunaan adsorben zeolit dan koagulan PAC terhadap penurunan kandungan kromium pada limbah cair batik. Efektivitas penurunan yang dihasilkan oleh zeolit dan PAC sebesar 74,63% dan 90,15%. Hasil penelitian juga mendapatkan tidak adanya perbedaan nyata antar perlakuan zeolit, tetapi terdapat perbedaan nyata pada PAC.

Kata kunci: limbah cair batik; kromium; zeolit; *poly aluminium chloride*

1. Pendahuluan

Batik sebagai budaya Indonesia ditetapkan oleh UNESCO menjadi Warisan Kemanusiaan untuk Budaya Lisan dan Nonbendawi sejak Oktober 2009 (Lestari, 2012). Industri pembuatan batik di Pulau Jawa khususnya Jawa Timur ditemukan di daerah Madura, Tuban, Sidoarjo,

Banyuwangi, dan Tulungagung (Wangi, Poernomo, & Suhartono, 2019). Sentra Batik di Tulungagung tersebar di beberapa daerah. Salah satu daerah yang terkenal adalah Mojosari.

Secara umum proses pembuatan batik dimulai dari proses persiapan, pemolaan, pemalaman, pewarnaan, hingga pelorodan. Pada proses pewarnaan, bahan pewarna sintetis lebih menjadi pilihan karena mudah didapatkan dan keragaman warna yang dimiliki lebih bervariasi. Namun demikian, penggunaannya berpotensi mencemari lingkungan karena lebih sulit terurai dan mengandung logam berat yaitu kromium yang bersifat *persistent*, *bioaccumulative*, dan *toxic* serta sulit terurai (A`yunina, Moelyaningrum, & Ellyke, 2022; Jannah & Muhimmatin, 2019; Kirana, 2021). Apabila bahan tersebut jatuh ke tanah maka akan masuk ke air tanah lalu dapat meresap ke air sumur, kolam, dan sungai sehingga berpotensi mencemari lingkungan (Sembel, 2015).

Logam berat mempunyai sifat *non-biodegradable* yaitu tidak dapat terurai secara biologi dan cenderung terakumulasi pada makhluk hidup (Yadav, Gupta, & Sharma, 2019). Logam kromium dapat masuk dan mencemari air tanah apabila terjadi rembesan dari air limbah. Di dalam tubuh manusia kromium dibutuhkan dalam konsentrasi rendah sebagai mikronutrien esensial, tetapi dalam konsentrasi tinggi dapat membahayakan kesehatan. Sifat toksik kromium terutama kromium heksavalen dapat menyebabkan keracunan akut hingga kronis. Selain itu, sifat oksidatif kromium dapat merusak sel darah karena mengikat oksigen (Prasad et al., 2021). Logam kromium dikelompokkan ke dalam jenis karsinogenik karena dapat menghambat kerja enzim benzopiren hidroksilase yang memicu perlambatan proses pertumbuhan sel tubuh sehingga sel akan tumbuh tidak terkontrol (liar) lalu menyebabkan kanker (Wulaningtyas, 2018). Oleh sebab itu, dalam Singh & Gupta (2016) juga dikatakan salah satu efek kromium adalah kanker paru-paru.

Pada pembuatan batik akan dihasilkan limbah cair. Limbah cair ini berasal dari sisa air yang digunakan pada proses pewarnaan dan pelorodan. *Home industry* batik X merupakan salah satu produsen batik di Kabupaten Tulungagung yang tempat produksinya berada dekat dengan pemukiman warga. Limbah sisa produksi pada industri ini dialirkan ke sebuah tempat penampungan, namun belum ada pengolahan lebih lanjut terkait kandungan limbah tersebut sehingga perlu diterapkan pengolahan yang cocok. Berdasarkan uji pendahuluan diketahui terdapat kandungan kromium (Cr) total sebesar 8,554 mg/L dalam limbah cair batik. Merujuk Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah, kadar maksimal Cr total adalah 1 mg/L sehingga diperlukan pengelolaan limbah terlebih dahulu.

Metode pengelolaan limbah cair yang bisa diterapkan adalah adsorpsi dan koagulasi. Metode adsorpsi merupakan proses terserapnya suatu zat dari cairan ke permukaan butiran zat penyerap atau disebut adsorben. Zeolit menjadi salah satu adsorben yang dipakai dalam mengolah limbah. Metode koagulasi merupakan teknologi pengolahan limbah dengan mencampurkan koagulan melalui pengadukan cepat. Penambahan koagulan dapat menstabilkan koloid dan padatan halus tersuspensi pada massa inti partikel. Salah satu jenis koagulan adalah *Poly Aluminium Chloride* (PAC).

Zeolit merupakan mineral yang memiliki struktur utama SiO_4 dan AlO_4 . Zeolit mempunyai bentuk kristal teratur dengan rongga yang berhubungan ke segala arah (Atikah, 2017). Hal ini menjadi alasan zeolit cocok digunakan sebagai adsorben karena luas permukaan yang dimiliki besar. Selain karena mudah ditemukan, zeolit dipilih sebagai bahan adsorpsi

karena harganya relatif murah. Merujuk penelitian Raziah et al. (2017) yang menyatakan 1 gram zeolit mampu menurunkan logam kadmium dalam air dengan persentase 81,813%. Namun demikian, zeolit mengandung pengotor yang dapat menurunkan fungsi adsorpsi yang dimilikinya sehingga perlu diaktivasi secara fisika atau kimia untuk meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Hal ini selaras dengan penelitian Setyaningsih et al. (2017) bahwa zeolit yang diaktivasi akan meningkat kemampuan penyerapannya.

PAC ($Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$) merupakan garam aluminium klorida yang memiliki rantai polimer panjang. PAC dipilih untuk mengolah limbah karena memiliki kemampuan koagulasi yang baik dibandingkan dengan koagulan lainnya dalam membentuk flok. Besarnya berat molekul dan tingginya muatan listrik menyebabkan pembentukan flok berlangsung dengan cepat (Kholifah, 2018). Hasil penelitian Shiddiqi et al. (2022) mendapatkan bahwa PAC yang ditambahkan pada limbah cair industri tekstil dapat menurunkan kadar logam Fe dan Cu dengan efektivitas 86,69% dan 67,84%.

Berdasarkan paparan sebelumnya, terdapat penelitian terdahulu tentang pengolahan limbah cair menggunakan zeolit maupun PAC. Masih sedikit penelitian yang bertujuan menurunkan kandungan kromium pada limbah batik menggunakan adsorben zeolit dan koagulan PAC. Oleh karena itu, penelitian terkait Efektivitas Penggunaan Adsorben Zeolit dan Koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) untuk Menurunkan Kandungan Kromium pada Limbah Cair Batik menarik untuk dilakukan.

2. Metode

2.1 Rancangan Penelitian

Metode penelitian menggunakan eksperimen skala laboratorium dengan rancangan penelitian *Posttest-Only Control Design*. Penelitian dibagi menjadi kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Pengelompokan yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

- Kontrol : tidak diberi perlakuan
- Perlakuan Z1 : menggunakan 4 gram zeolit
- Perlakuan Z2 : menggunakan 6 gram zeolit
- Perlakuan Z3 : menggunakan 8 gram zeolit
- Perlakuan Z4 : menggunakan 10 gram zeolit
- Perlakuan P1 : menggunakan 0,5 gram PAC
- Perlakuan P2 : menggunakan 1 gram PAC
- Perlakuan P3 : menggunakan 2 gram PAC
- Perlakuan P4 : menggunakan 4 gram PAC

2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan November hingga Februari. Sampel diambil di industri batik X Kabupaten Tulungagung sedangkan perlakuan dilangsungkan di Laboratorium Kimia Universitas Muhammadiyah Malang. Selanjutnya untuk pengecekan kadar kromium dilakukan di Laboratorium Lingkungan Jasa Tirta Malang.

2.3 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang dibutuhkan adalah limbah cair batik, zeolit, dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC). Sedangkan alat yang digunakan yaitu blender, wadah plastik, oven, jerigen, botol plastik, timbangan analitik, *magnetic stirrer*, gelas beaker, erlenmeyer, corong gelas, kertas saring, dan spektrofotometer.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Pengambilan Limbah Batik

Penelitian menggunakan sampel air limbah yang berasal dari industri batik X Kabupaten Tulungagung. Limbah yang diambil adalah sisa dari proses pewarnaan dan pelorodan yang dilakukan pada kain batik. Penampungan air limbah menggunakan jerigen yang ditutup rapat.

2.4.2 Perlakuan Zeolit terhadap Limbah Cair Batik

Pertama zeolit dihancurkan menjadi bentuk yang lebih halus menggunakan blender. Zeolit kemudian diaktivasi secara fisika melalui pemanasan dalam oven dengan temperatur 150°C dan waktu 1 jam (Cahyadi, Siregal, & Vita, 2013). Setelah itu zeolit ditimbang dengan masing-masing massa 4, 6, 8, dan 10 gram (Raziah et al., 2017). Selanjutnya dilakukan pencampuran zeolit dengan 500 mL limbah cair batik dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan skala 2 selama 15 menit (Setyaningsih et al., 2017). Campuran dibiarkan selama 30 menit lalu dipisahkan antara filtrat dan residu menggunakan kertas saring. Filtrat dituang dalam botol untuk dilakukan analisis kandungan kromium.

2.4.3 Perlakuan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) terhadap Limbah Cair Batik

Pertama *Poly Aluminium Chloride* (PAC) ditimbang dengan masing-masing massa 0,5; 1; 2; dan 4 gram. Selanjutnya dilakukan pencampuran PAC dengan 500mL limbah cair batik. Lakukan pengadukan cepat dan lambat dengan *magnetic stirrer* masing-masing 1 menit dan 10 menit (Devega, Darundiati, & Setiani, 2019). Campuran didiamkan selama 4 jam kemudian disaring menggunakan kertas saring. Hasil penyaringan dituang dalam botol untuk dilakukan analisis kandungan kromium.

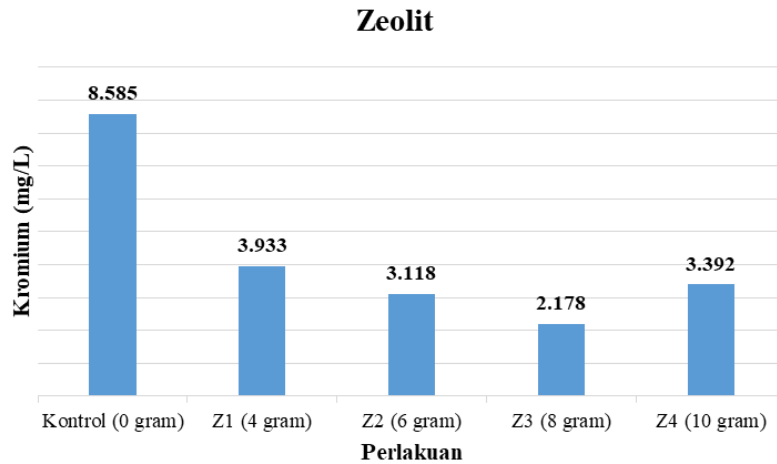
2.5 Analisis Data

Data hasil uji laboratorium akan disajikan dalam bentuk grafik. Analisis data efektivitas dilakukan dengan menjadikan data penurunan konsentrasi kromium menjadi persentase efektivitas. Selanjutnya dilakukan uji statistik untuk melihat perbedaan pemberian perlakuan zeolit dan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) terhadap penurunan kadar kromium. Uji Regresi bertujuan untuk menentukan pengaruh antara variabel bebas dan variabel terikat (Sujarweni & Endrayanto, 2012). Uji Normalitas dan Uji Homogenitas dilakukan sebagai syarat penentuan analisis parametrik atau non-parametrik. Uji *Kruskal Wallis* dapat digunakan apabila data tidak tersebar normal dan tidak homogen, sedangkan uji *One Way Anova* untuk data normal dan homogen. Uji *Kruskal Wallis* juga dapat dipilih apabila data berskala rasio dengan ukuran sampel kecil (Suliyanto, 2014).

3. Hasil dan Pembahasan

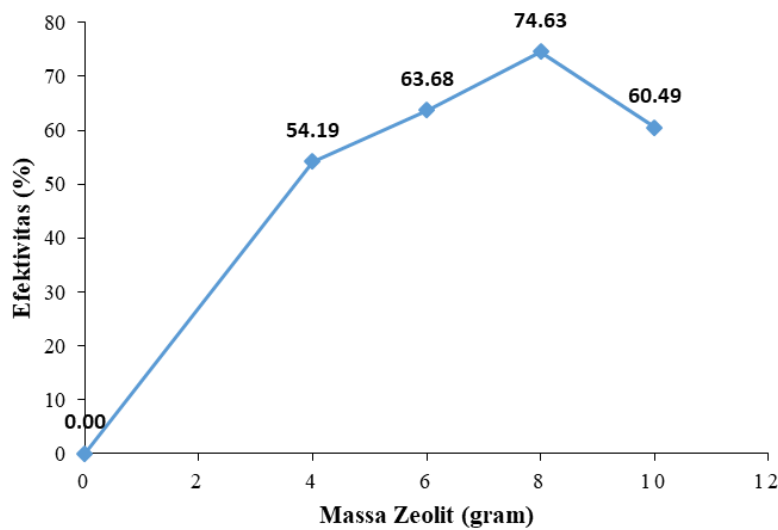
3.1 Perlakuan Adsorpsi terhadap Kandungan Kromium

Perlakuan pengolahan limbah secara adsorpsi menggunakan adsorben zeolit dilakukan dengan 4 variasi massa pada setiap 500mL limbah cair batik. Ragam massa tersebut yaitu 4 gram, 6 gram, 8 gram, dan 10 gram. Adapun hasil perlakuan secara adsorpsi ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil Perlakuan Adsorpsi dengan Zeolit terhadap Kandungan Kromium

Gambar 1 menunjukkan rata-rata konsentrasi kromium pada kontrol adalah 8,585 mg/L. Setelah perlakuan adsorpsi menggunakan adsorben zeolit sebanyak 4 gram (Z1) didapatkan konsentrasi kromium 3,933 mg/L. Kemudian penggunaan 6 gram zeolit (Z2) dan 8 gram zeolit (Z3) menghasilkan konsentrasi kromium sebesar 3,118 mg/L dan 2,178 mg/L. Selanjutnya untuk massa zeolit 10 gram (Z4) menunjukkan nilai konsentrasi kromium rata-rata sebesar 3,392 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut, penggunaan adsorben zeolit dalam proses pengolahan limbah secara adsorpsi mampu menurunkan kandungan kromium pada limbah cair batik. Kadar kromium setelah diberi perlakuan mengalami penurunan dibandingkan dengan yang tidak diberi perlakuan (kontrol).



Gambar 2. Grafik Efektivitas Adsorben Zeolit dalam Menurunkan Kandungan Kromium

Berdasarkan gambar 2, didapatkan bahwa efektivitas perlakuan adsorpsi dalam mengolah limbah cair batik mengalami kenaikan seiring penambahan massa adsorben zeolit. Pada penggunaan 4 gram, 6 gram, dan 8 gram zeolit didapatkan efektivitas penurunan kromium berturut-turut sebesar 54,19%; 63,68%; dan 74,63%. Akan tetapi pada penambahan 10 gram zeolit, efektivitas penurunan kromium mengalami penurunan menjadi 60,49%. Selaras dengan penelitian Setyaningsih et al. (2017) menunjukkan penggunaan massa zeolit sebesar 10 gram terjadi penurunan penyerapan kromium yang terjadi karena adanya tumpang tindih antar situs aktif pada permukaan adsorben. Hal ini disebabkan adanya kepadatan jumlah partikel adsorben dalam sistem adsorpsi. Selain itu, dosis adsorben yang besar dapat menciptakan agregasi partikel dan penurunan total luas permukaan sehingga terjadi peningkatan jalur difusi yang menyebabkan efektivitas adsorpsi menjadi lebih rendah (Sari & Tuzen, 2014).

Pemilihan adsorben zeolit dalam penelitian ini menunjukkan pengaruh nyata dalam menurunkan kandungan kromium pada limbah cair batik. Hal ini diperkuat dengan uji regresi yang menunjukkan nilai sig. 0,010. Hasil tersebut $<0,05$ sehingga disimpulkan bahwa zeolit berpengaruh terhadap penurunan kandungan kromium pada limbah cair batik. Berdasarkan uji tersebut didapatkan persamaan garis regresinya adalah $y=7,883-1,214x$ yang berarti apabila massa zeolit bertambah maka nilai kromium akan menurun. Besarnya hubungan (R) antara zeolit terhadap penurunan kandungan kromium adalah sebesar 0,643 yaitu masuk dalam kategori kuat. Adapun nilai koefisien determinasi (R^2) yaitu 0,413 yang berarti bahwa kontribusi pengaruh massa zeolit terhadap penurunan kandungan kromium memiliki persentase 41,3% sedangkan 58,7% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain.

Penurunan konsentrasi kromium yang terjadi setelah proses pengolahan dengan adsorpsi menggunakan adsorben zeolit terjadi karena adanya struktur kristal tiga dimensi tetrahedral silikat (Si_4^{4-}) yang mempunyai saluran dan rongga sehingga memungkinkan pertukaran ion karena dapat ditempati kation dan molekul air bebas (Anggoro, 2017; Cahyadi et al., 2013). Selain itu, zeolit mempunyai pori-pori besar dengan permukaan yang luas dan adanya sisi aktif yang menyebabkan zeolit mampu menyerap logam. Kation Cr yang ada dalam

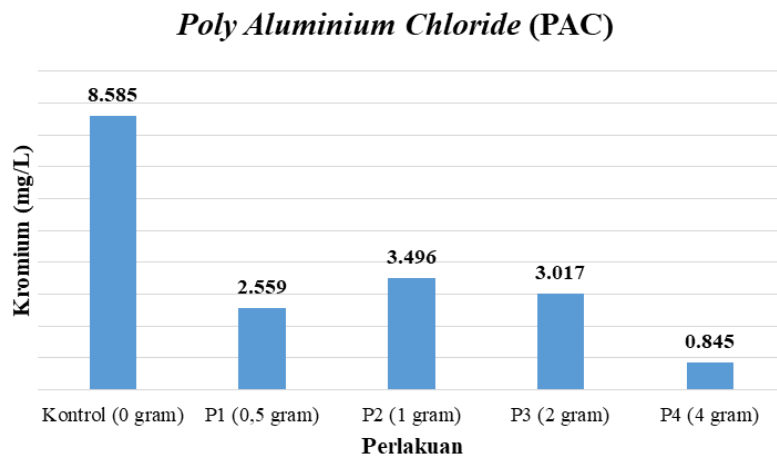
limbah masuk ke saluran zeolit melalui difusi molekular kemudian terjadi pertukaran sehingga kation H^+ pada permukaan zeolit dibebaskan ke larutan. Proses pertukaran ini akan berakhir apabila telah tercapai kesetimbangan yaitu perbandingan antara kation terserap zeolit dengan kation dalam larutan mencapai maksimum. Menurut Febrina et al. (2021), zeolit yang ditambahkan pada sampel limbah laboratorium mengalami sifat jenuh pada massa 7 gram sehingga penambahan massa lebih dari itu menyebabkan penyerapan Cr tidak mengalami kenaikan karena telah mencapai batas maksimal. Selain itu, adsorbat yang belum teradsorpsi akan berdifusi keluar pori dan kembali ke arus fluida sebagai akibat dari tidak terbentuknya lapisan adsorpsi kedua pada permukaan adsorben yang sudah jenuh (Nurafriyanti, Prihatin, & Syauqiah, 2017; Santi, 2015).

Proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh karakteristik adsorben. Adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi harus memiliki luas permukaan yang besar (Setianingsih, 2018). Pada penelitian ini, adsorben zeolit dihaluskan dan diaktivasi terlebih dahulu untuk memperkecil ukuran partikel dan menghilangkan uap air yang dapat menurunkan fungsi adsorpsi. Aktivasi dilakukan secara fisika melalui pemanasan pada temperatur $150^{\circ}C$ dan waktu 1 jam. Merujuk pada penelitian Cahyadi et al. (2013) dan Setyaningsih et al. (2017) yang menyatakan bahwa aktivasi zeolit secara fisika dapat menurunkan kandungan logam pada limbah cair karena permukaan aktif zeolit menjadi lebih luas.

Berdasarkan perolehan uji Kruskal Wallis, nilai sig. adalah 0,094. Nilai ini $>0,05$ sehingga disimpulkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata lebih dari dua kelompok. Penurunan kandungan kromium antar setiap perlakuan kontrol, Z1, Z2, Z3, dan Z4 tidak berbeda nyata. Hal ini dapat ditimbulkan oleh kurang maksimalnya daya adsorpsi yang dimiliki adsorben. Zeolit dengan kemampuan adsorpsi yang tinggi bisa diperoleh melalui aktivasi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ardhiyany (2020), aktivasi zeolit dapat dilakukan melalui dua cara yaitu fisika dan kimia. Secara fisika, aktivasi dilakukan melalui pemanasan dengan tujuan menambah luas permukaan zeolit karena air yang terjebak dalam pori-pori zeolit akan menguap sehingga dapat terbentuk ruang kosong (Ngapa & Gago, 2019). Secara kimia, aktivasi dapat menggunakan larutan asam atau basa. Tujuan aktivasi tersebut untuk membersihkan pori-pori zeolit dan membuang senyawa pengganggu. Selain itu, logam alkali (Ca^{2+} , K^+ , dan Mg^{2+}) dapat ikut larut sehingga tidak menutupi pori zeolit. Permukaan zeolit juga menjadi lebih aktif karena terjadi pengaktifan dengan H^+ . Merujuk pada penelitian Atikah (2017), aktivasi kimia memberikan luas permukaan yang tinggi sehingga dapat mendukung adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan aktivasi fisika.

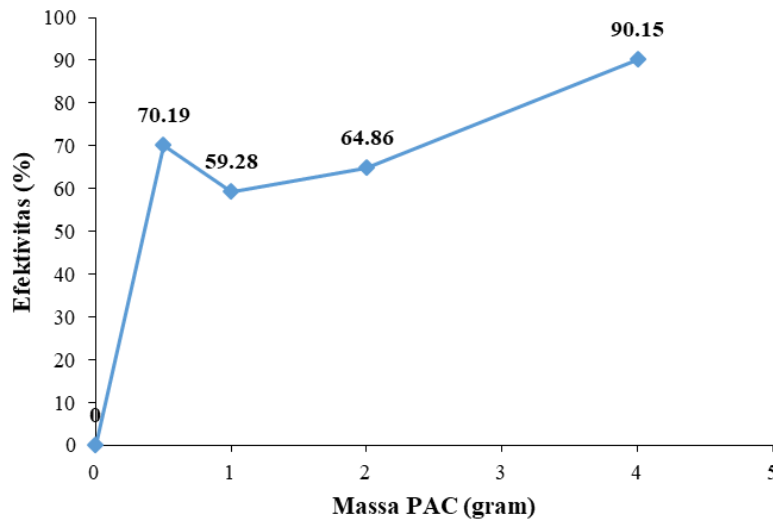
3.2 Perlakuan Koagulasi terhadap Kandungan Kromium

Perlakuan pengolahan limbah secara koagulasi menggunakan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) dilakukan dengan 4 variasi massa pada setiap 500mL limbah cair batik yaitu 0,5 gram, 1 gram, 2 gram, dan 4 gram. Adapun hasil pengolahan secara koagulasi disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Perlakuan Koagulasi dengan PAC terhadap Kandungan Kromium

Pada gambar 3 didapatkan konsentrasi kromium rata-rata kelompok kontrol adalah 8,585 mg/L. Setelah diolah secara koagulasi menggunakan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) sebanyak 0,5 gram (P1) didapatkan konsentrasi kromium sebesar 2,559 mg/L. Selanjutnya penggunaan 1 gram PAC (P2) menghasilkan konsentrasi kromium sebesar 3,496 mg/L. Kemudian pada penambahan 2 gram PAC (P3) dan 4 gram PAC (P4) didapatkan konsentrasi kromium sebesar 3,017 mg/L dan 0,845 mg/L. Menurut hasil tersebut, kadar kromium dalam limbah cair batik setelah perlakuan secara koagulasi menggunakan koagulan PAC mengalami penurunan dibandingkan dengan kontrol tanpa perlakuan.



Gambar 4. Grafik Efektivitas Koagulan PAC dalam Menurunkan Kandungan Kromium

Berdasarkan gambar 4, efektivitas perlakuan koagulasi dalam mengolah limbah cair batik didapatkan persentase penurunan terbesar pada penambahan 4 gram PAC yaitu 90,15%. Hasil tersebut telah sesuai dengan baku mutu dalam Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 yaitu kadar kromium total maksimum air limbah sebesar 1 mg/L. Devega et al. (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa PAC dapat menurunkan kandungan kromium pada limbah

penyamakan kulit dimana semakin besar koagulan yang ditambahkan maka semakin besar penurunan kandungan kromium. Pada penelitian Shiddiqi et al. (2022) juga mendapatkan penurunan kadar logam Fe dan Cu setelah penambahan koagulan PAC dalam limbah cair industri tekstil.

Pengaplikasian koagulan PAC dalam limbah menunjukkan pengaruh nyata pada penurunan kandungan kromium. Hal ini didukung hasil uji regresi yang memperoleh nilai sig. 0,000. Nilai tersebut <0,05 sehingga disimpulkan bahwa PAC berpengaruh terhadap penurunan kandungan kromium pada limbah cair batik. Pada uji tersebut diperoleh persamaan garis regresi $y=8,808-1,622x$ artinya jika massa PAC bertambah maka nilai kromium akan menurun. Besarnya hubungan (R) antara PAC terhadap penurunan kandungan kromium adalah 0,803 yang masuk dalam kategori sangat kuat, sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) yaitu 0,645 yang berarti bahwa kontribusi pengaruh massa PAC terhadap penurunan kandungan kromium memiliki persentase 64,5% sedangkan 35,5% sisanya dipengaruhi faktor lain.

Proses koagulasi dipengaruhi oleh jenis koagulan yang digunakan. Penurunan konsentrasi kromium setelah perlakuan koagulasi terjadi karena aplikasi koagulan PAC menyebabkan partikel dengan muatan negatif dalam limbah akan ternetralisir. Kandungan muatan positif yang tinggi dalam PAC menyebabkan partikel tersuspensi tertarik dan agregat terikat dengan kuat sehingga mempermudah pembentukan flok. Gaya tolak menolak antar partikel akan berkurang sehingga partikel koloid saling mendekat dan membentuk gumpalan besar (Kholifah, 2018). Selain itu, adanya gugus aktif aluminat dan rantai polimer gugus polielektrolit dalam PAC efektif mengikat koloid sehingga flok yang dihasilkan lebih padat (Rahman, 2018).

Hasil uji Kruskal Wallis menunjukkan nilai sig. 0,038 yang berarti <0,05. Merujuk pada hasil tersebut dapat disimpulkan terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata lebih dari dua kelompok. Berdasarkan nilai *mean rank*, didapatkan bahwa perlakuan P4 yaitu penggunaan 4 gram PAC memiliki nilai *mean* terendah sebesar 2,67 sehingga dapat dikatakan yang paling berpengaruh dalam menurunkan kandungan kromium adalah reagen PAC sebanyak 4 gram. Sejalan dengan penelitian Devega et al. (2019), bertambahnya PAC yang digunakan akan menyebabkan konsentrasi kromium yang terkandung semakin kecil. Hal ini karena jumlah koagulan PAC yang ditambahkan akan mempengaruhi ketersediaan sisi aktif yang dapat mengikat logam (Unwakoly, Hattu, & Dulanlebit, 2019).

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian ditemukan bahwa terdapat pengaruh penggunaan adsorben zeolit dan koagulan *Poly Aluminium Chloride* (PAC) terhadap penurunan kandungan kromium pada limbah cair batik. Pengolahan secara adsorpsi menggunakan zeolit mendapatkan hasil bahwa penambahan 8 gram zeolit mampu menurunkan konsentrasi kromium dengan efektivitas 74,63%, sedangkan pengolahan secara koagulasi menggunakan PAC mendapatkan hasil bahwa penambahan 4 gram PAC mampu menurunkan konsentrasi kromium hingga di bawah baku mutu dengan efektivitas sebesar 90,15%. Hasil penelitian juga menemukan tidak adanya perbedaan nyata antar setiap perlakuan pada adsorben zeolit, sedangkan koagulan PAC terdapat perbedaan nyata. Penelitian selanjutnya disarankan dapat mengembangkan jenis aktivasi yang digunakan untuk adsorben zeolit.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Djoko Kustono, M.Pd dan Bapak Muhammad Al-Irsyad, S.KM., M.PH selaku dosen pembimbing 1 dan 2, serta Prof. Dr. Marji, M.Kes selaku dosen penguji.

Daftar Rujukan

- A'yunina, U., Moelyaningrum, A. D., & Ellyke. (2022). Pemanfaatan Arang Aktif Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) untuk Mengikat Kromium (Cr) (Study Pada Limbah Cair Batik). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(1), 93–98. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.1.93-98>
- Anggoro, D. D. (2017). *Buku Ajar Teori dan Aplikasi Rekayasa Zeolit*. Semarang: UNDIP Press.
- Ardhiany, S. (2020). Pengaruh Ukuran Mesh Adsorben Zeolit dan Konsentrasi HCl pada Pengolahan Limbah Pencelupan Kain Jumputan. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 10(02), 4–14. <https://doi.org/10.52506/jtpa.v10i02.89>
- Atikah, W. S. (2017). Karakterisasi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Media Adsorben Pewarna Tekstil. *Arena Tekstil*, 32(1), 17–24. <https://doi.org/10.31266/at.v32i1.2650>
- Cahyadi, Siregal, A. S., & Vita, N. (2013). Potensi Zeolit Alam Sebagai Media Penyerapan Logam Berat Kromium (Cr) yang Terkandung dalam Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 16, 73–80. Retrieved from <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jtpl/article/view/1235>
- Devega, L., Darundiati, Y. hanani, & Setiani, O. (2019). Efektivitas Variasi Dosis Koagulan PAC (Poly Aluminum Chloride) dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Kromium (Cr) pada Limbah Cair Penyamakan Kulit. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 7(5), 180–186. Retrieved from <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm/article/view/24364/22076>
- Febrina, L., Noviana, L., & Ni'mah, U. (2021). Analisis Penurunan Kadar Krom (Cr) Limbah Laboratorium Menggunakan Zeolit dan Karbon Aktif. *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 1(1), 1–13. <https://doi.org/10.36441/seoi.v1i1.169>
- Jannah, I. N., & Muhimmatin, I. (2019). Pengelolaan Limbah Cair Industri Batik Menggunakan Mikroorganisme di Kecamatan Cluring Kabupaten Banyuwangi. *Warta Pengabdian*, 13(3), 106–115. <https://doi.org/10.19184/wrtp.v13i3.12262>
- Kementerian Lingkungan Hidup. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah (2014). Indonesia.
- Kholifah, Z. (2018). Perbedaan Penurunan pH dan TSS pada Air Lindi dengan Menggunakan Poly Aluminium Chlorida (PAC) dan Aluminium Sulfat (Tawas). *Digital Repository Universitas Jember*. Universitas Jember.
- Kirana, A. A. (2021). Penggunaan Pewarna Kimia dalam Proses Pembuatan Batik. *Folio*, 2(1), 1–8. Retrieved from <https://journal.uc.ac.id/index.php/FOLIO/article/view/1873>
- Lestari, S. D. (2012). *Mengenal Aneka Batik*. Jakarta Timur: PT Balai Pustaka.
- Ngapa, Y. D., & Gago, J. (2019). Adsorpsi Ion Pb (II) oleh Zeolit Alam Ende Teraktivasi Asam: Studi Pengembangan Mineral Alternatif Penjerap. *Cakra Kimia*, 7(2), 84–91. Retrieved from <https://ojs.unud.ac.id/index.php/cakra/article/view/56180>
- Nurafriyanti, Prihatin, N. S., & Syaunqiah, I. (2017). Pengaruh Variasi pH dan Berat Adsorben dalam Pengurangan Konsentrasi Cr Total pada Limbah Artifisial Menggunakan Adsorben Ampas Daun Teh. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 56–65. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.20527/jukung.v3i1.3200>
- Prasad, S., Yadav, K. K., Kumar, S., Gupta, N., Cabral-Pinto, M. M. S., Rezania, S., ... Alam, J. (2021). Chromium Contamination and Effect on Environmental Health and Its Remediation: A Sustainable Approaches. *Journal of Environmental Management*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112174>
- Rahman, N. A. (2018). Sintesis Poly Aluminium Chlorida (PAC) dari Limbah Serbuk Aluminium untuk Menurunkan Kekeuhan Air Sungai Je'neberang. *Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*.
- Raziah, C., Putri, Z., Lubis, A. R., & Mulyati, S. (2017). Penurunan Kadar Logam Kadmium Menggunakan Adsorben Nano Zeolit Alam Aceh. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.32734/jtk.v6i1.1557>
- Santi. (2015). Kinetika Adsorpsi Ion Logam Pb (II) pada Karbon Aktif dengan Gelombang Ultrasonik. *Al-Kimia*, 3(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.24252/al-kimia.v3i1.1661>

- Sari, A., & Tuzen, M. (2014). Cd(II) Adsorption from Aqueous Solution by Raw and Modified Kaolinite. *Applied Clay Science*, 88–89, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.12.021>
- Sembel, D. T. (2015). *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta: Andi.
- Setianingsih, T. (2018). *Karakterisasi Pori dan Luas Muka Padatan*. Malang: UB Press.
- Setyaningsih, L. W. N., Asmira, Z. I., & W, N. C. F. (2017). Aktivasi dan Aplikasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Logam Kromium dalam Air Limbah Industri Penyamakan Kulit. *Eksergi*, 14(1), 7–11.
- Shiddiqi, Q. Y. A., Prabowo, B. H., Putri, R. P., Larasati, A. S., & Karisma, A. D. (2022). Studi Penurunan Level COD dan Kadar Logam Berat pada Limbah Cair Industri Tekstil dengan Perlakuan Koagulasi dan Elektrokoagulasi. *Jurnal Integrasi Proses*, 11(1), 6–10. <https://doi.org/10.36055/jip.v11i1.11290>
- Singh, N., & Gupta, S. K. (2016). Adsorption of Heavy Metals: A Review, 5(2). <https://doi.org/10.15680/IJRSET.2016.050146>
- Sujarweni, V. W., & Endrayanto, P. (2012). *Statistik untuk Penelitian*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Suliyanto. (2014). *Statistik Non-parametrik dalam Aplikasi Penelitian*. Yogyakarta: Andi.
- Unwakoly, A., Hattu, N., & Dulanlebit, Y. H. (2019). Analisis Timbal dalam Lindi (Leachate) secara Koagulasi Menggunakan Polialuminium Klorida. *Molluca Journal of Chemistry Education (MJoCE)*, 9(1), 38–45. <https://doi.org/10.30598/mjocevol9iss1pp38-45>
- Wangi, R. R., Poernomo, D., & Suhartono. (2019). Pelaksanaan Proses Produksi pada Usaha Kecil Batik Pringgokusumo Banyuwangi (Implementation of Production Process on Pringgokusumo Batik Small Business in Banyuwangi). *E-SOSPOL*, 6(1), 55–63. Retrieved from <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/E-SOS/article/view/12224/6950>
- Wulaningtyas, F. A. (2018). Karakteristik Pekerja Kaitannya dengan Kandungan Kromium dalam Urine Pekerja di Industri Kerupuk Rambak X Magetan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 127. <https://doi.org/10.20473/jkl.v10i1.2018.127-137>
- Yadav, M., Gupta, R., & Sharma, R. K. (2019). Green and Sustainable Pathways for Wastewater Purification. *Advances in Water Purification Techniques: Meeting the Needs of Developed and Developing Countries*, 355–383. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814790-0.00014-4>