

EFEKTIVITAS BIJI ASAM JAWA SEBAGAI KOAGULAN ALAMI DALAM MENURUNKAN KONSENTRASI ZAT WARNA *REMAZOL RED* DAN NILAI COD

Sekar Wangi Retno Pembayun¹, Maya Rahmayanti²

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta, Indonesia

²Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta, Indonesia

e-mail korespondensi:sekarwangiretnopembayun@gmail.com, maya.rahmayanti@uin-suka.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan konsentrasi zat warna *remazol red* (RR) dan nilai COD limbah cair batik menggunakan biji asam jawa sebagai koagulan alami. Karakterisasi biji asam jawa (*Tamarindus indica*) dilakukan menggunakan spektrofotometer FTIR. Penentuan pH optimum interaksi koagulan dengan zat warna RR dipelajari pada pH 2, 3, 4, 5, dan 6. Hasil karakterisasi biji asam jawa menunjukkan adanya serapan di daerah $3417,86\text{ cm}^{-1}$ yang mengindikasikan keberadaan gugus -OH dan -NH₂. Karakterisasi biji asam jawa setelah koagulasi menunjukkan tidak terbentuknya serapan baru, hanya saja terjadinya pergeseran bilangan gelombang di daerah 3400 cm^{-1} yang diduga disebabkan karena terjadi interaksi elektrostatik antara permukaan koagulan dan permukaan zat warna RR. pH optimum interaksi koagulan dengan zat warna RR didapatkan pada pH 3 dengan persentase penurunan zat warna RR sebesar 68,26% dan penurunan nilai COD sebesar 97,94%. Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa biji asam jawa dapat digunakan sebagai koagulan untuk menurunkan konsentrasi zat warna RR dan nilai COD limbah cair batik.

Kata kunci: koagulasi, biji asam jawa, *remazol red*, FTIR, COD

Abstract

This study aims to reduce the dye concentration of remazol red (RR) and the COD value of batik wastewater using tamarind seeds (Tamarindus indica) as a natural coagulant. Characterization of tamarind seeds was carried out using a FTIR spectrophotometer. Determination of the optimum pH of the coagulant interaction with RR dye was studied at pH 2, 3, 4, 5, and 6. The results of the characterization of tamarind seeds before coagulation showed an uptake in the 3417.86 cm^{-1} area which indicated the presence of -OH and -NH₂ groups. Characterization of tamarind seeds after coagulation showed no new absorption, only a shift in the wave number in the 3400 cm^{-1} area, which is thought to be caused by electrostatic interactions between the coagulant surface and the RR dye surface. The optimum pH of the interaction between the coagulant and the RR dye was obtained at pH 3 with a decrease in the RR dye percentage of 68.26% and a decrease in the COD value of 97.94%. Based on this research, it can be concluded that Tamarindus indica seeds can be used as a coagulant to reduce the RR dye concentration and the COD value of batik wastewater.

Keywords: coagulation, tamarindus indica seeds, remazol red, FTIR, COD

PENDAHULUAN

Pewarnaan batik merupakan hal yang paling penting dalam proses pembuatan batik. Zat warna yang banyak digunakan dalam proses pewarnaan batik diantaranya *naphthol*, *indigosol*, dan *remazol red* (RR). RR merupakan jenis pewarna tekstil yang cukup mudah diaplikasikan dibanding jenis

pewarna lainnya. Hal ini dikarenakan pewarna tekstil ini dapat larut dalam air (Fatimah et al., 2018). RR merupakan zat warna reaktif yang mengandung gugus kromofor azo -N=N-. Kelemahan dari zat warna azo bersifat mutagenik dan karsinogenik Waghmode dalam (Ara et al.,

*Corresponding author.

2013). Menurut (Wardhana, 2004) senyawa azo dalam kondisi aerobik sulit terdegradasi, sedangkan dalam kondisi anaerobik senyawa tersebut dapat tereduksi menjadi senyawa yang berbahaya. Senyawa yang berbahaya tersebut dapat menyebabkan terjadinya kanker pada manusia, bersifat racun, mengganggu biota perairan, dan merusak lingkungan perairan (Ara et al., 2013; Demarchi et al., 2015; Setiyanto, 2016; Fatimah et al., 2018; Boraei et al., 2019).

Limbah batik juga mengandung senyawa organik seperti kanji, sisa lilin dan soda abu. Senyawa organik yang tinggi dapat meningkatkan nilai COD. Semakin tinggi nilai COD, maka semakin tinggi pencemaran dalam suatu perairan (Manik, 2018). Menurut (Boyd, 1990) yang mempengaruhi nilai COD antara lain oksigen terlarut, zat organik dan sumber pencemar lainnya.

Menurut (Indrayani, 2018), persediaan air yang dibutuhkan untuk produksi industri batik \pm 25 juta m³ air pertahun. Hampir 85% dari persediaan air tersebut menjadi limbah cair dengan warna yang pekat dan bau yang menyengat. Pewarnaan limbah batik dengan zat warna RR dan kandungan senyawa organik yang tinggi dapat menyebabkan masalah baru bagi lingkungan. Oleh karena itu, limbah batik yang mengandung zat warna RR dan senyawa organik sebelum dibuang ke lingkungan diperlukan proses pengolahan terlebih dahulu dengan tujuan untuk mengurangi bahaya pada lingkungan tanah dan perairan.

Pengolahan limbah cair telah banyak digunakan di antaranya menggunakan metode bioremediasi (Imron et al., 2016), foet alokatalis (Fradisari et al., 2015). Filtrasi (Prमितasari, 2017), elektrokoagulasi (Fatimah et al., 2018), adsorpsi (Rahmayanti et al., 2020; Latifah et al., 2020; Fuadah et al., 2019), koagulasi (Hendrawati et al., 2013; Andre et al., 2015; Martina et al., 2018). Metode koagulasi merupakan metode yang banyak dikembangkan dalam pengolahan limbah cair. Kelebihan metode koagulasi yaitu lebih mudah, cepat dan efektif dalam mengolah limbah khususnya dalam bentuk koloid (Suryadiputra, 1995).

Koagulan yang banyak digunakan dalam pengolahan limbah yaitu aluminium dan PAC. Namun hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa tersebut dapat memicu terjadinya penyakit alzheimer dan memiliki sifat neuroksitas (Hendrawati et al., 2013). Hasil pengamatan penggunaan koagulan anorganik menunjukkan adanya kandungan logam yang tinggi pada lumpur hasil koagulasi (Meraz et al., 2016). (Madhavi et al., 2013) menyatakan biokoagulan merupakan alternatif yang memiliki masa depan yang cerah karena mudah didapatkan, jumlahnya banyak, ramah lingkungan, dan sifatnya yang biodegradable. Biokoagulan yang banyak digunakan untuk menurunkan konsentrasi zat warna dan nilai COD adalah biji asam jawa (Ramadhani et al., 2013; Ramesh, 2018; Rizki et al., 2019).

Biji asam jawa merupakan biokoagulan yang memiliki kandungan protein di dalamnya yang mampu berperan sebagai polielektrolit alami yang berfungsi mirip dengan koagulan sintetik (Andre et al., 2015; Martina et al., 2018). Menurut (Hendrawati et al., 2013) gugus amino yang terkandung didalam biji asam jawa mampu mengikat partikel koloid yang bermuatan negatif yang selanjutnya mengalami destabilisasi dan membentuk partikel yang berukuran besar dan pada akhir proses akan mengendap. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya biji asam jawa mampu menurunkan zat warna *drimaren red* sebesar 94,29% (Martina et al., 2018). Penurunan warna dan nilai COD pada limbah lindi TPA sebesar 97,3% dan 67,4% (Azis et al., 2018). Penurunan nilai COD limbah cair tempe sebesar 81,72% (Ramadhani et al., 2013). Oleh karena itu, biji asam jawa dalam penelitian ini dipilih sebagai koagulan untuk mengolah zat warna RR dan senyawa organik limbah cair batik.

Penelitian ini meliputi karakterisasi dan aplikasi biji asam jawa pada berbagai variasi pH. Karakterisasi digunakan untuk mengetahui terjadinya interaksi biji asam jawa dan zat warna RR. Aplikasi biji asam jawa digunakan untuk mengetahui kemampuan biji asam jawa dalam menurunkan konsentrasi zat warna RR dan nilai COD limbah cair batik.

METODE

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu lumpang dan alu, sendok sungsu, loyang, ayakan 60 mesh, toples, pipet plastik, magnetik stirer, kertas saring, kertas saring whattman 42, gelas arloji, batang pengaduk, pipet ukur 1 mL, pipet ukur 5 mL, pipet ukur 10 mL, pipet volume 25 mL, botol akuades, gelas beker 250 mL, labu ukur 50 mL, labu ukur 100 mL, labu ukur 250 mL, gelas ukur 50 mL, erlenmeyer 25 mL, erlenmeyer 250 mL, pH meter, neraca analitik, hotplate, oven, pompa vakum, Spektrofotometer UV-Vis (1800 Double Beam Shimadzu), Instrumen FTIR (IR, Shimadzu Prestige-21).

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu biji asam jawa, asam humat hasil isolasi tanah gambut Sumatera, dan zat warna *remazol red* limbah cair batik. Bahan larutan standar zat warna *remazol red* yang digunakan dibeli di Toko Bahan Batik. Bahan-bahan kimia yang dipakai pada penelitian ini berkualitas analitik (*analytical grade*) buatan *E. merck* yaitu natrium asetat trihidrat ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$), asam asetat glasial (CH_3COOH), asam klorida (HCl), asam florida (HF), akuades.

Preparasi dan Karakterisasi Biji Asam Jawa

Biji asam jawa yang digunakan pada penelitian ini adalah biji asam jawa yang berwarna kecoklatan tua. Sebelum diaplikasikan, biji asam jawa dijemur selama 12 jam. Biji asam jawa yang telah kering direndam selama 48 jam menggunakan air bersih. Biji asam jawa selanjutnya dikupas dan ditumbuk hingga halus. Selanjutnya dioven pada suhu 65°C selama 30 menit untuk menurunkan kadar airnya. Serbuk yang telah kering dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR dan digunakan sebagai koagulan zat warna RR dan senyawa organik limbah cair batik.

Aplikasi Koagulan Biji Asam Jawa

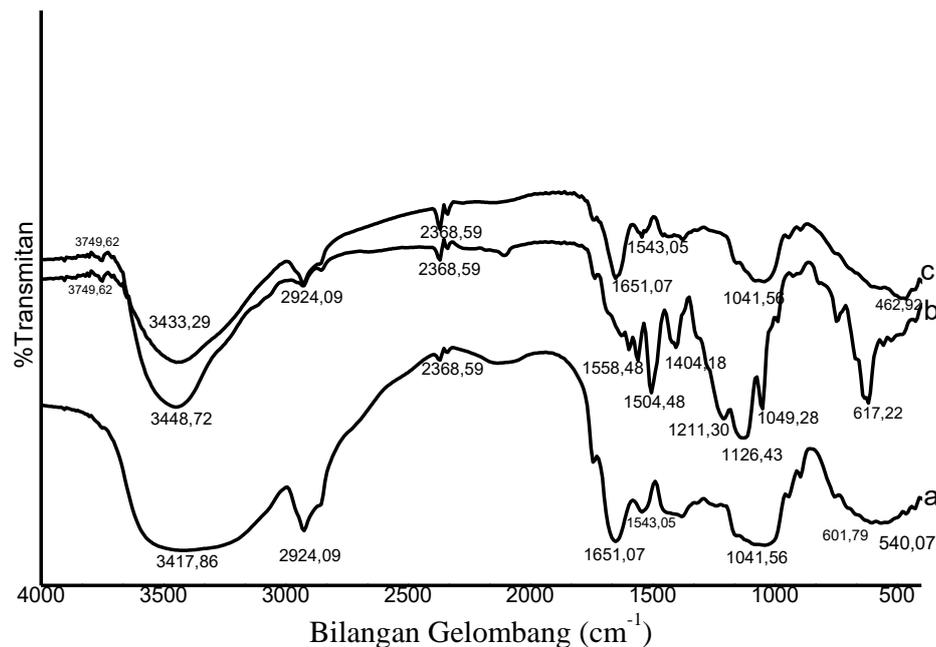
Limbah batik (@50 mL) yang telah diatur pHnya pada rentang 2-6 dimasukkan ke dalam gelas beker dan ditambahkan 500 mg serbuk biji asam jawa. Selanjutnya larutan campuran diaduk dengan *magnetic stirer* dengan kecepatan 350 rpm selama 5 menit dan 125 rpm selama 30 menit. Selanjutnya larutan yang telah dikoagulasi diendapkan 60 menit. Filtrat kemudian disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh diuji konsentrasi zat warnanya menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan nilai CODnya. Endapan yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FTIR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Material Menggunakan Spektrofotometer FTIR

Karakterisasi gugus fungsi biji asam jawa dan zat warna RR dilakukan menggunakan FTIR. Gambar 1 spektra FTIR (a) biji asam jawa sebelum koagulasi menunjukkan adanya serapan OH dan NH_2 pada bilangan gelombang $3417,86\text{ cm}^{-1}$, C=O dengan vibrasi ulur pada bilangan gelombang $1651,07$, C-O dengan vibrasi ulur pada bilangan gelombang $1041,56\text{ cm}^{-1}$, N=O dengan vibrasi ulur pada bilangan gelombang $1543,05\text{ cm}^{-1}$, dan alkil halida pada bilangan gelombang $540,07\text{ cm}^{-1}$. Spektra FTIR (b) zat warna RR menunjukkan adanya serapan gugus azo N=N pada bilangan gelombang $1558,48\text{ cm}^{-1}$, C-N pada bilangan gelombang $1211,30\text{ cm}^{-1}$, S=O pada bilangan gelombang $1126,43\text{ cm}^{-1}$, dan C-O pada bilangan gelombang $1049,28\text{ cm}^{-1}$.

Berdasarkan Gambar 1(b), terlihat adanya pergeseran serapan di daerah 3400 cm^{-1} setelah koagulasi yang mengindikasikan adanya interaksi antara zat warna *remazol red* dengan koagulan biji asam jawa. Mekanisme interaksi diduga melalui interaksi elektrostatis antara zat warna RR dengan permukaan biji asam jawa.



Gambar 1. Spektra FTIR (a) biji asam jawa sebelum koagulasi, (b) zat warna *remazol red*, dan (c) biji asam jawa setelah koagulasi

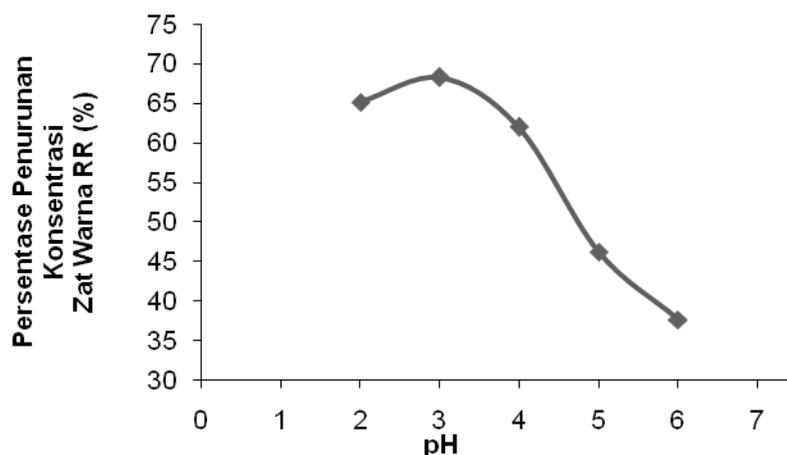
Aplikasi Biji Asam Jawa sebagai Koagulan

Aplikasi biji asam jawa sebagai koagulan limbah cair batik dilakukan pada rentang pH 2-6. Optimasi pH penting dipelajari karena keasaman berpengaruh terhadap struktur permukaan koagulan dan zat warna RR. Hasil interaksi koagulan dengan zat warna RR pada berbagai rentang pH disajikan pada Gambar 2.

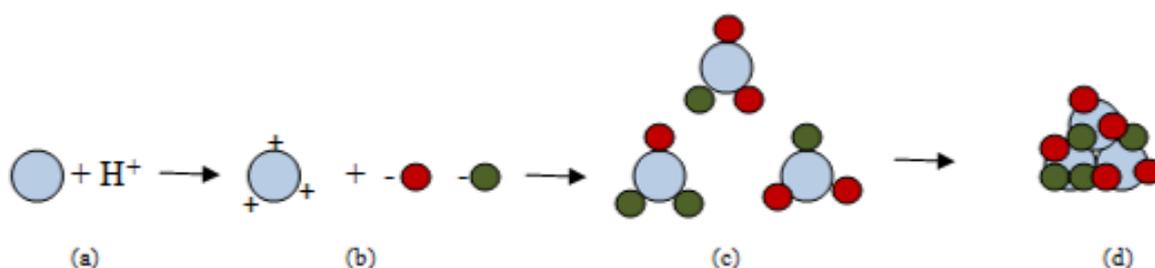
Berdasarkan Gambar 2, pada rentang pH 2-4, koagulan biji asam jawa dapat menurunkan konsentrasi zat warna RR dalam limbah batik lebih baik dibandingkan pada pH 5-6. Kondisi optimum penurunan konsentrasi zat warna RR terjadi pada pH 3, yaitu sebesar 68,26%. Hal ini dikarenakan pada rentang pH 2-4 gugus amino koagulan biji asam jawa menjadi bermuatan positif (NH_3^+) sedangkan zat warna RR bersifat anionik sehingga memungkinkan zat warna RR berinteraksi dengan koagulan biji asam jawa melalui ikatan elektrostatis. Pada rentang pH 5-6, persentase penurunan zat warna RR semakin rendah, hal ini dikarenakan kemampuan protonasi gugus $-\text{NH}_2$ semakin berkurang, sehingga menyebabkan berkurangnya kemampuan koagulan dalam

berinteraksi dengan zat warna RR yang bersifat anionik.

Penurunan nilai COD pada pH 3 sebesar 97,94 %. Koagulan biji asam jawa memiliki kapasitas koagulasi yang lebih besar dalam menurunkan limbah batik dengan kandungan senyawa organik dan zat pencemar lainnya. Hal ini didasarkan oleh beberapa faktor yaitu: senyawa-senyawa organik yang terkandung dari air limbah umumnya bermuatan negatif (Lestari et al., 2014). Soda abu dalam limbah batik merupakan suatu senyawa yang agak larut dalam air membentuk Na^+ dan CO_3^{2-} dan larutannya bersifat basa (Kusniyah et al., 2014). Lilin yang digunakan dalam proses pembatikan memiliki sifat kelenturan dan daya rekat yang tinggi (Abdulmalik et al., 2016). Sifat-sifat dari senyawa organik tersebut seperti bermuatan negatif dan mudah merekat mempermudah proses koagulasi sedangkan dalam proses koagulasi pada zat warna RR limbah cair batik yang berinteraksi dengan koagulan dan adsorben yang terprotonasi hanyalah gugus sulfonat yang bermuatan negatif sehingga koagulasi dan adsorpsi kurang optimal



Gambar 2. Grafik hubungan persentase konsentrasi zat warna RR vs pH limbah cair batik



Gambar 3. Mekanisme proses koagulasi zat warna *remazol red* dan senyawa organik limbah cair batik pada koagulan biji asam jawa

Berdasarkan Gambar 3, mekanisme proses koagulasi senyawa organik dengan limbah cair batik dengan koagulan biji asam jawa terdiri dari beberapa tahapan yaitu: (a) koagulan biji asam jawa bereaksi dengan H^+ sehingga gugus amino koagulan biji asam jawa menjadi bermuatan positif (NH_3^+). Gugus amino yang terdapat dalam protein pada larutan asam akan bereaksi dengan ion H^+ sehingga protein menjadi bermuatan positif (Yazid, 2006). Zat warna RR merupakan zat warna dengan gugus sulfonat bermuatan negatif (SO_3^-) (Ara et al., 2013). (Lestari et al., 2014) menyatakan bahwa partikel-partikel yang terkandung dari air limbah organik umumnya bermuatan negatif. Soda abu dalam limbah batik merupakan suatu senyawa yang agak larut dalam air membentuk Na^+ dan CO_3^{2-} dan larutannya bersifat basa (Kusniyah et al., 2014).

Selanjutnya pada mekanisme (b) gugus amino yang bermuatan positif (abu-abu) akan berinteraksi melalui interaksi elektrostatis dengan gugus sulfonat zat warna *remazol red* (merah) dan muatan negatif dari senyawa organik (hijau) limbah cair batik. Interaksi elektrostatis diperkuat dengan hasil pergeseran bilangan gelombang pada kisaran 3400 cm^{-1} yang dapat dilihat pada Gambar 1. Interaksi elektrostatis yang terjadi menyebabkan terjadinya proses adsorpsi gugus sulfonat yang bermuatan negatif dan muatan negatif dari senyawa organik terikat pada permukaan biji asam jawa yang bermuatan positif. Selanjutnya terjadi koagulasi dan membentuk endapan. Adapun reaksinya sebagai berikut:



Reaksi yang pertama gugus amino yang terprotonasi berikatan secara elektrostatik dengan gugus sulfonat yang bermuatan negatif membentuk endapan. Reaksi yang kedua gugus amino biji asam jawa yang telah terprotonasi berikatan secara elektrostatik dengan karbonat dari senyawa organik yang bermuatan negatif. Kedua reaksi tersebut menyebabkan terbentuknya koagulasi zat warna RR dan senyawa organik dengan koagulan biji asam jawa. Proses koagulasi terjadi ketika air limbah ditambahkan dengan biokoagulan, partikel-partikel yang terdapat dalam air limbah tersebut akan membentuk agregasi atau penggabungan partikel yang lebih besar, sebagai akibat dari adanya perbedaan muatan antara partikel koloid dan koagulan (Eckenfelder, 1989; Masrun, 1987).

Biji asam jawa merupakan suatu molekul protein yang memiliki rantai yang panjang yang memiliki sisi untuk mengadsorpsi zat warna dan sisi yang lainnya meluas ke dalam larutan. Sisi yang meluas ini pada mekanisme (c) memungkinkan untuk berikatan dengan koloid lain membentuk jembatan bersama partikel-partikel lain, sehingga terbentuk flok besar (Fitriani, 2016). Terbentuknya flok-flok dapat dilihat pada mekanisme (d) hasil koagulasi. Terbentuknya flok-flok hasil koagulasi diperkuat dengan hasil penurunan konsentrasi zat warna *remazol red* dan nilai COD sebesar 68,26% dan 97,94%.

Penelitian ini sesuai dengan teori (Farooq, 1989). Jika polielektrolit bermuatan positif ditambahkan ke dalam target koagulasi (limbah), maka kation tersebut akan masuk ke dalam lapisan difusi karena tertarik oleh muatan negatif yang ada permukaan partikel koloid. Hal ini menyebabkan konsentrasi ion-ion dalam lapisan difusi akan meningkat sehingga ketebalan lapisan difusi akan berkurang (termampatkan ke arah permukaan partikel). Penambahan kation hingga mencapai jumlah tertentu akan merubah

besar partikel ke suatu tingkat dimana gaya tarik-menarik antar partikel dapat melampaui gaya tolak-menolak yang ada. Dengan demikian partikel koloid dapat saling mendekati dan menempel membentuk mikroflok.

SIMPULAN

Karakterisasi biji asam jawa sebelum dan setelah koagulasi mengalami pergeseran bilangan gelombang di daerah 3400 cm^{-1} yang mengindikasikan adanya interaksi elektrostatik antara zat warna *remazol red* dengan koagulan biji asam jawa. Kemampuan koagulasi optimum didapatkan pada pH 3 dengan penurunan konsentrasi zat warna *remazol red* limbah cair batik sebesar 68,26% dan penurunan nilai COD limbah cair batik sebesar 97,94%.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulmalik, Nadia, Khairunnisa. 2016. Pengaruh Komposisi Damar Mata Kucing pada Pembuatan Lilin Batik terhadap Kualitas Pewarnaan Hasil Pambatikan. *Jurnal Teknoin*. Vol. 22, No. 4, Hal. 252-260.
- Andre. 2015. Penggunaan Tepung Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) sebagai Biokoagulan untuk Menurunkan Kadar Fosfat dan COD pada Air Limbah Usaha Laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 4, No. 4, Hal. 1-5.
- Ara, Jahan, N., Hasan, Md. Abu, Rahman, Arifur, M., Salam, Md. Abdus, Salam dan Alam, A. M. Shafiqul. Removal of Remazol Red from Textile Waste Water using Treated Sawdust- An Effective Way of Effluent Treatment. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*. Vol. 16, No. 1, Hal. 93-98.
- Azis, Y.C., Yii, S. F.F., Syed Zainal, S.F., Ramli, C.O., Akinbile. 2018. Effect of using *Tamarindus indica* Seeds as a natural coagulant aid in landfill leachate treatment. *Global NEST Journal*. Vol. 20, No. 2, Hal. 373-380.
- Boraei, N. F. El., Ibrahim, M.A.M. 2019. Black Binary Nickel Cobalt Oxide Nano-powder Prepared by Cathodic

- Electrodeposition; Characterization and its Efficient Application on removing the Remazol Red Textile Dye from Aqueous Solution. *Journal Material Chemistry and Physic.* 238, 121894, Hal. 1-15.
- Boyd, C. 1990. *Water Quality Management in Alabama in Aquaculture experiment station ponds for aquaculture.* Alabama: Auburn University.
- Demarchi, Albertina, C., Debrassi, Aline, Buzzi, Fa'tima de Campos, Nedelke, Nataliya, S'lawska-Waniewska, Anna, Piotr, Magro, Dal, J., Scapinello, jaqueline, Rodrigues, dan Antonio, C. 2015. Adsorption of the dye *Remazol Red 198 (RR 198)* by 0-carboxymethylchitosan-N-lauryl/ γ - Fe_3O_2 magnetic nanoparticles. *Arabian Journal of Chemistry.* Vol. 12, Hal. 3444-3453.
- Eckenfelder, W. W. Jr. 1989. *Industrial Water Pollution Control.* New York: Mc Graw-Hill Co.
- Farooq, S dan Velioglu, S.G. 1989. *Physico-Chemical Treatment of Domestic Technology.* Houston: Gulf Publishing Company Book Division.
- Fatimah, N, Alimmudin, dan Gunawan, R. 2018. Penurunan Intensitas Warna Remazol Red RB 133 dalam Limbah Batik dengan Elektrokoagulasi menggunakan NaCl. *Jurnal Atom.* Vol. 03, No. 1, Hal. 39-46.
- Fitriani, Elok, A. 2016. *Penurunan Konsentrasi Methyl Orange dengan Variasi Dosis Koagulan Ekstrak NaCl-Biji Asam Jawa serta pH Larutandan Konsentrasi Methyl Orange.* Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Fraditasari, R., Wardhani, S. dan Khunur, M. M. 2015. Degradasi Methyl Orange menggunakan fotokatalis TiO_2 -N: Kajian Pengaruh Sinar dan Konsentrasi TiO_2 -N: Kajian Pengaruh Sinar dan Konsentrasi TiO_2 -N. *Kimia Student Journal.* Vol.1, No. 1, Hal. 606-612.
- Fuadah, S., V., dan Rahmayanti, M. 2019. Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna *Naftol Blue Black* Menggunakan Adsorben Humin Hasil Isolasi Tanah Gambut Riau, Sumatera. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry.* Vol. 4, No. 2, Hal. 59-67.
- Fuadah, S.R. dan Rahmayanti, M. 2019. Adsorpsi-Desorpsi Zat Warna *Naftol Blue Black* Menggunakan Adsorben Humin Hasil Isolasi Tanah Gambut Riau, Sumatera. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry.* Vol. 4, No. 2, Hal. 59-67.
- Hendrawati, Syamsumarsih, D., dan Nurhasni. 2013. Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica L.*) dan Biji Kecipir (*Psophocarpus tetragonolus L.*) sebagai koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah. *Jurnal Valensi.* Vol. 3. No. 1, Hal. 22-23.
- Imron, M. F. dan Purwanti, I. F.. 2016. Uji Kemampuan Bakteri *Azotobacter S8* dan *Bacillus subtilis* untuk Menyisihkan Trivalent Chromium (Cr^{3+}) pada limbah. *Jurnal Teknik ITS.* Vol. 5, No. 1, Hal. F4-F10.
- Indriyani, L. 2018. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik sebagai Salah Satu Percontohan IPAL Batik di Yogyakarta. *Jurnal Ecotrophic.* Vol. 12, No. 2, Hal. 173-184.
- Januardi, R., Setyawati, T. R., dan Mukarlina. 2014. Pengolahan Limbah Cair Tahu menggunakan Kombinasi Serbuk Kelor (*Moringa oleifera*) dan Asam Jawa (*Tamarindus Indica*). *Jurnal Protobiont.* Vol. 3, No. 1, Hal. 41-45.
- Khusniyah. 2014. Pengaruh Tawas dan Soda Abu Terhadap Pewarnaan pada Biji Buah Melon dengan Zat Warna Rhodamine B sebagai Bahan Kerajinan Bando. *E-Journal.* Vol. 03, No. 01, Hal. 65-70.
- Latifah, W.N. dan Rahmayanti, M. 2020. Desorption of Indigosol Blue from Humic Acid Coated Fe_3O_4 Particles. *Proceeding International Conference Science and Engineering.* 3, Hal. 169-170.

- Lestari, N. D. dan Agung, T. 2014. Penurunan TSS dan Warna Limbah Industri Batik Secara Elektro Koagulasi. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol. 6, No. 1, Hal. 37-44.
- Madhavi. 2013. Utilision of Natural Coagulant for Reduction of Turbidity from Wastewater. *International Journal of ChemTech Research*. Vol. 5, No. 3, Hal. 1119-1123.
- Manik. 2018. *Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Kencana.
- Martina, A., Effendy, D. S., Soetedjo, J. N. M. 2018. Aplikasi Koagulan Biji Asam Jawa dalam Penurunan Konsentrasi Zat Warna Drimaren Red pada Limbah Tekstil Sintetik pada berbagai Variasi Operasi. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol. 12, No. 2, Hal. 98-103.
- Masrun. 1987. *Ilmu Kimia Lingkungan*. Bandung: ITB Press.
- Meraz, S. M. P., Vargas, J.T.L., Moldonado, dan Mishra, A. K. 2016. Flocculation Performances of Polymers and Nanomaterials for The Treatment of Industrial Wastewaters. *Journal Smart Material For Waste Water Application*. Hal. 213-236.
- Pramitasari, N. dan Damayanti, A. 2017. Pemanfaatan Zeolit dan Silika sebagai Material Membran Filtrasi untuk Menurunkan Konsentrasi Warna Limbah Batik. *Jurnal Purifikasi*. Vol. 17, No. 1.
- Rahmayanti, M., Yunita, M., Putri, N.F.S. 2020. Study of Adsorption-Desorption on Batik Industrial Dyes (Naphthol Blue Black) on Magnetite Modified Humic Acid (HA-Fe₃O₄), *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. Vol. 23, No. 7, Hal. 244-248.
- Ramadhani, G. I., dan Moesriati, A. 2013. Pemanfaatan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) sebagai Koagulan Alternatif dalam Proses Menurunkan Kadar COD dan BOD dengan studi kasus Limbah Cair Industri Tempe. *Jurnal Teknik POMITS*. Vol. 2, No. 1.
- Ramesh, S., Mekala. 2018. Treatment of Textile Waste Water using Moringa Oleifera and *Tamarindus Indica*. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Vol. 05, No. 03, Hal. 3891-3895.
- Rizki, A., Syahputra, E., Pandia, S., Halimatuddahlia. 2019. Pengaruh Waktu Kontak dan Massa Adsorben Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dengan Aktivator H₃PO₄ terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue. *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol. 08, No. 2, Hal. 54-60.
- Suryadiputra. 1995. *Pengantar Kuliah Pengolahan Limbah: Pengolahan Air Limbah dengan Metode Kimia (Koagulasi dan Flokulasi)*. Bogor: IPB Press.
- Wardhana, W. A. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: C. V. Andi Offset.
- Yazid, E. dan Nursanti, L.. 2006. *Penentuan Praktikum Biokimia untuk Mahasiswa Analisis*. Yogyakarta: C. V. Andi Offset.