EFEKTIVITAS BIJI KELOR SEBAGAI KOAGULAN ALAMI PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TAHU MELALUI PROSES ANAEROBIK-AEROBIK

Laily Isna Ramadhani¹, Yurike Dwiayu Rahmaningsi¹, Nanda Ravenia Amanda¹,
Herawati Budiastuti^{1,*}

¹Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung,
Jalan Gegerkalong Hilir, Ds.Ciwaruga, Bandung 40012

*Email: herabudi@polban.ac.id

ABSTRAK

Limbah cair tahu merupakan salah satu limbah cair dengan kandungan organik yang tinggi dan berpotensi merusak lingkungan. Pada penelitian ini digunakan dua metode pengolahan dengan mengkombinasikan metode pengolahan biologi dan proses koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan alami, biji kelor. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh dosis dan ukuran partikel koagulan terbaik. Dosis biji kelor divariasikan dari 1.000, 2.000, 3.000, dan 4.000 ppm. Dosis terbaik digunakan untuk menentukan ukuran partikel koagulan terbaik dengan variasi ukuran 250, 500, 1.000, dan 2.000 μm . Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis biji kelor terbaik untuk metode 1 (aerobik dan koagulasi flokulasi) adalah 2.000 ppm dan untuk metode 2 (kombinasi anaerobik-aerobik dan koagulasi flokulasi) adalah 4.000 ppm. Ukuran partikel terbaik yaitu 500 μm untuk kedua metode dengan efisiensi penurunan kekeruhan sebesar 94,57% untuk efluen metode 1 dan 78,28% untuk efluen metode 2.

Kata kunci: Limbah cair tahu, biji kelor, koagulan alami, koagulasi- flokulasi

ABSTRACT

Tofu wastewater is one of the pollutant wastewater that potentially cause the serious damage to the environment due to its high organic content. The combination of biology method in the help of microorganism and coagulation-flocculation method using kelor seed were applied in this study. This research aims were determining the best dose and the optimum size of coagulant. Doses variation were 1,000, 2,000, 3,000 and 4,000 ppm of coagulant. The best dose resulted would be used to determine the optimum size of coagulant by variating 250, 500, 1,000 and 2,000 μm . The result showed that 2,000 ppm was the best coagulant dose for the first method (aerobic and coagulation-flocculation method) and 4,000 ppm was the optimum dose for the second method (combination of anaerobic-aerobic and coagulation-flocculation method). 500 μm was determined as the optimum particle size of the coagulant for both methods with % removal turbidity level were 94,57% for the first method and 78,28% for the second method.

Keywords: Tofu wastewater, kelor seed, natural coagulant, coagulation-flocculation

PENDAHULUAN

Limbah cair tahu adalah salah satu limbah cair yang dihasilkan dalam proses produksi tahu dengan kandungan zat organik yang tinggi sehingga

berpotensi mencemari lingkungan. Kandungan organik limbah cair tahu yang terukur sebagai COD terbilang tinggi yaitu berkisar 13.837 mg/L (Rahmaningsih & Amanda, 2019).

Studi mengenai pengolahan limbah cair tahu sudah banyak dilakukan, diantaranya terangkum dalam Tabel 1. di bawah ini

Tabel 1. Teknologi Pengolahan Limbah Tahu (Rozana dkk., 2011)

% Removal	Teknologi Pengolahan		
	Adsorben Zeolit	Proses Biofilter Anaerobik dan Aerob	Koagulasi-flokulasi dan ultrafiltrasi
BOD5	23,96%	89,4%	75,84%
COD	15,06%	88,2%	78,19%
TSS	-	94%	97,84%

Pada Tabel 1 disajikan informasi mengenai proses pengolahan limbah menggunakan beberapa teknologi diantaranya menggunakan zeolit sebagai adsorben, proses biofilter anaerobik dan aerob dan juga menggunakan proses koagulasi-flokulasi. Dari beberapa perbandingan teknologi tersebut diperoleh hasil efisiensi penurunan parameter pencemar terbaik adalah proses biofilter anaerobik dan aerobik dengan kemampuan penurunan kadar COD mencapai 88,2%. Proses pengolahan dengan melibatkan mikroorganisme merupakan metode pengolahan yang umumnya dipakai dalam mendegradasi kandungan organik dalam limbah. Hanya saja proses ini masih menyisakan efluen yang berbau tidak sedap dan berwarna keruh. Dengan demikian diperlukan proses tambahan untuk menghasilkan efluen dengan kualitas yang lebih baik.

Tingginya kandungan pencemar yang terukur sebagai COD pada limbah cair tahu, didukung dari studi literatur di atas, maka pada penelitian ini proses pengolahan limbah cair tahu dilakukan dalam dua tahapan utama yaitu tahap pengolahan biologi secara aerobik dan kombinasi anaerobik-aerobik dan tahap koagulasi-flokulasi sebagai penyempurna proses pengolahan. Proses biologi dimaksudkan untuk menurunkan

nilai COD dalam limbah dan proses koagulasi-flokulasi dimaksudkan untuk menurunkan tingkat kekeruhan efluen. Dari penelitian yang dilakukan Oktariyany dan Kartohardjono (2018), tingkat kekeruhan limbah cair tahu dapat diturunkan sebesar 45% melalui proses koagulasi-flokulasi menggunakan PAC sebagai koagulannya.

Koagulan alami yang digunakan dalam penelitian ini adalah salah satu koagulan alami yang ketersediaannya sangat banyak di Indonesia yaitu biji kelor. Biji kelor memiliki kandungan protein yang cukup tinggi dimana hasil studi yang dilakukan oleh Hidayat (2009) membuktikan bahwa kandungan protein dalam biji kelor memiliki muatan positif sehingga termasuk polielektrolit kationik. Muatan positif dalam biji kelor akan memudahkan terbentuknya flok ketika berikatan dengan muatan negatif dalam partikel koloid sehingga proses pengendapan akan lebih cepat terjadi. Dalam beberapa tahun terakhir ini, tingginya kesadaran masyarakat terhadap isu-isu lingkungan meningkatkan ketertarikan terhadap studi mengenai koagulan alami dimana lebih murah karena tersedia melimpah di alam, mudah terurai, rendah akan zat-zat berbahaya dan biasanya memiliki luas permukaan yang besar sehingga meningkatkan efisiensi proses koagulasi (Freitas dkk., 2015). Penggunaan koagulan alami tentunya bisa menjadi pilihan yang menguntungkan khususnya bagi negara tropis seperti Indonesia yang memiliki potensi sumber daya alam yang tinggi. Studi mengenai penggunaan koagulan alami dalam menurunkan turbiditas air limbah sudah banyak dilakukan sebelumnya seperti biji buncis (Mishra & Bajpai, 2006), biji pinus (Hussain dkk., 2019), biji pohon ek dan kastanya (Klašnja dkk., 2009).

METODE

Gambar 1. Alur proses pengolahan limbah cair secara anaerob-aerob dan koagulasi-flokulasi

Alat

Limbah cair tahu dalam penelitian ini diolah menggunakan 2 metode yaitu melalui proses aerobik dan koagulasi-flokulasi sebagai metode 1 dan melalui kombinasi proses anaerobik-aerobik, dan koagulasi-flokulasi sebagai metode 2. Pada penelitian ini digunakan 2 rangkaian reaktor aerobik 30 L yang dilengkapi dengan aerator, pompa sirkulasi dan tangka umpan (TU). RA merupakan reaktor aerobik yang digunakan pada metode 1 sedangkan RAA1 adalah reaktor anaerobik yang merupakan bagian dari metode 2 yang kemudian hasil keluaran dari reaktor ini dialirkan ke reaktor aerobik (RAA2). RAA1 dilengkapi dengan gasometer (GM) dioperasikan pada penelitian lain. Efluen dari RA dan RAA2 kemudian diolah lebih lanjut dalam *jar test* sebagai tempat terjadinya proses koagulasi-flokulasi (Gambar 1.)

Biji kelor digunakan sebagai koagulan alami untuk membantu proses pengendapan dimana proses ini dilakukan pada pH 6, mengacu pada pH optimum proses koagulasi-flokulasi dengan koagulan biji kelor yang

dilakukan oleh Hendrawati (2016) yaitu pada pH 6-8. Proses koagulasi dilakukan selama 3 menit dengan kecepatan pengadukan 100 RPM, sedangkan untuk proses koagulasi digunakan pengadukan dengan kecepatan 40 RPM selama 12 menit. Untuk mendapatkan dosis koagulan terbaik, digunakan variasi dosis 1.000, 2.000, 3.000, dan 4.000 ppm. Dosis koagulan biji kelor dengan efisiensi penurunan tingkat kekeruhan terbaik akan digunakan untuk menentukan ukuran partikel koagulan optimum dengan variasi ukuran partikel 250, 500, 1.000 dan 2.000 μm .

Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini terlampir dalam Tabel 1 beserta dengan spesifikasinya.

Tabel 1. Bahan Baku

No.	Bahan	Spesifikasi
1	Limbah cair industri tahu	COD: 1.000 mg/L pH : 5.85 Kekeruhan: 115,8 NTU
2	Lumpur Aktif	BOD : 1000 mg/L pH : 5.3
3	Biji kelor	100 gram

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian diawali dengan pengolahan limbah cair tahu melalui proses aerobik dan proses kombinasi anaerobik-aerobik dimana kedua reaktor dijalankan secara kontinyu dengan efluen sebesar 500 mL setiap 3 hari sekali untuk menurunkan kadar polutan yang terukur sebagai COD. Penggunaan HRT (*Hydraulic Retention Time*) besar dimaksudkan agar efisiensi degradasi kandungan organik dalam limbah lebih maksimal.

Gambar 2 Menunjukkan konsentrasi COD yang fluktuatif, namun demikian terlihat kecenderungan penurunan konsentrasi COD yang signifikan baik pada proses aerobik di reaktor aerobik metode 1 (RA) maupun di reaktor aerobik metode 2 (RAA2) dimana efisiensi penurunan kadar COD mencapai 89.744% untuk reaktor aerobik (RA) dan 88.292% untuk reaktor kombinasi (RAA2) dimana perbedaannya tidak signifikan. Selain karena penggunaan HRT panjang, tingginya efisiensi penurunan COD juga didukung dari upaya kontrol pH yang dilakukan selama proses berlangsung. Upaya control pH ini penting dilakukan untuk menjaga kondisi operasi reaktor agar tetap stabil dikondisi yang ideal untuk pertumbuhan bakteri aerobik dan anaerobik.

Gambar 2. Profil Konsentrasi COD Pada Proses Aerobik Metode 1 (RA) dan di Reaktor Aerobik Metode 2 (RAA 2)

Proses Koagulasi-Flokulasi Variasi Dosis

Variasi dosis dilakukan dengan memvariasikan dosis masing-masing koagulan sebesar 1.000, 2.000, 3.000 dan 4.000 ppm terhadap efluen proses aerobik (Metode 1.) maupun proses kombinasi anaerobik-aerobik (Metode 2.) Untuk proses koagulasi, digunakan kecepatan pengadukan sebesar 100 rpm selama 3 menit sedangkan untuk proses flokulasi dilakukan dengan kecepatan pengadukan 40 rpm selama 12 menit.

Gambar 3. Pengaruh Variasi Dosis Koagulan Terhadap Penurunan Kekeruhan pada Metode 1

Berdasarkan Gambar 3 tingkat kekeruhan pada semua variasi dosis menunjukkan penurunan, untuk variasi dosis 1.000 ppm, 2.000 ppm dan 4000 ppm kecepatan penurunan tingkat kekeruhan relatif sama yaitu pada menit ke-10 dan tidak mengalami perubahan yang signifikan pada menit-menit selanjutnya. Berbeda dengan variasi dosis 3.000 ppm dimana penurunan tingkat kekeruhan baru stabil dimenit ke-20 dengan nilai kekeruhannya lebih tinggi dibandingkan variasi dosis lainnya. Persentase penurunan tingkat kekeruhan pada semua variasi dosis tertera pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Variasi Dosis Koagulan Metode 1

Efisiensi Penurunan	Kekeruhan (%)
1.000 ppm	76,63%
2.000 ppm	78,28%
3.000 ppm	47,42%
4.000 ppm	45,01%

Berdasarkan Tabel 2 diperoleh efisiensi penyisihan kekeruhan terbesar diperoleh sebesar 78,28% ketika digunakan koagulan dengan dosis sebesar 2.000 ppm. Persentase penurunan kekeruhan kemudian menurun ketika digunakan variasi dosis yang lebih besar dari 2.000 ppm. Hal ini dikarenakan berlebihnya dosis koagulan yang digunakan meningkatkan nilai TSS dalam limbah yang berakibat meningkatnya tingkat kekeruhan. Digunakannya koagulan di atas dosis optimum menyebabkan kelebihan koagulan tidak dapat berinteraksi dengan partikel koloid sehingga menyebabkan meningkatnya kekeruhan (Hendrawati dkk., 2003). Selain itu menurut Weber (1972) dalam Kristijarti dkk. (2013), penambahan dosis koagulan yang berlebih membuat koloid kembali stabil dikarenakan tidak adanya ruang untuk membentuk penghubung partikel. Dari hasil tersebut diperoleh dosis terbaik koagulan biji kelor dalam mengolah efluen pengolahan aerobik adalah 2.000 ppm.

Dari Gambar 4 untuk proses koagulasi-flokulasi efluen metode 2 menunjukkan *trend* penurunan yang sama kecuali pada variasi dosis 1.000 ppm dimana tingkat kekeruhan baru berkurang secara signifikan pada menit ke-20. Hal ini dikarenakan untuk variasi dosis tersebut penurunan tingkat kekeruhan masih belum optimal, terkonfirmasi dari data persentase penurunan kekeruhan yang terlampir pada Tabel 3 dibawah ini.

Gambar 4. Pengaruh Variasi Dosis Koagulan Terhadap Penurunan Kekeruhan pada Metode 2

Tabel 3. Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Variasi Dosis Koagulan Metode 2

Efisiensi Penurunan	Kekeruhan(%)
1.000 ppm	37,01%
2.000 ppm	42,16%
3.000 ppm	51,66%
4.000 ppm	58,80%

Dari Tabel 3 diperoleh persentase penurunan kekeruhan pada berbagai variasi dosis koagulan, dimana tingkat penurunan kekeruhan meningkat seiring digunakannya variasi dosis yang semakin besar. Efisiensi penurunan kekeruhan tertinggi diperoleh sebesar 58,81% ketika digunakan dosis koagulan 4.000 ppm. Hal ini berbanding terbalik dengan hasil penurunan kekeruhan pada metode 1 dimana persentase efisiensi penurunan kekeruhan justru lebih besar ketika digunakan variasi dosis koagulan yang kecil. Hasil ini mengindikasikan bahwa penyebab utama kekeruhan pada efluen proses anaerobik-aerobik disebabkan karena komponen utama yang terkandung di dalamnya adalah koloid (Kristijarti dkk., 2013). Meskipun efisiensi tertinggi yang diperoleh pada metode 2 lebih kecil dibandingkan metode 1 namun untuk variasi dosis 4.000 ppm terbilang sudah efektif menurut Gurnham (1955) karena tingkat penurunannya lebih dari 50%.

Variasi Ukuran Partikel Koagulan

Tahapan penelitian berikutnya adalah melakukan variasi partikel koagulan pada metode 1 maupun metode 2. Pada tahap ini digunakan dosis optimum yang merupakan hasil dari variasi dosis koagulan pada tahap sebelumnya dimana dosis optimum untuk koagulan biji kelor adalah 2.000 ppm untuk metode 1 dan 4.000 ppm untuk metode 2.

Gambar 5. Pengaruh Variasi Ukuran Koagulan Terhadap Penurunan Kekeruhan pada Metode 1

Gambar 5 menunjukkan perbedaan kecepatan penurunan kekeruhan pada variasi ukuran koagulan 250 µm dan 500 µm dimana baru terjadi pada menit ke-20. Variasi ukuran koagulan 1.000 µm dan 2.000 µm yang sudah mengalami penurunan yang signifikan pada menit ke-10. Meskipun kecepatan penurunan kekeruhannya lebih lambat, efisiensi penurunan akhir pada variasi dosis 250 µm dan 500 µm dimenit ke-60 jauh lebih tinggi dibandingkan dengan koagulan dengan yang lebih besar (Tabel 4).

Tabel 4. Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Variasi Ukuran Koagulan pada Metode 1

Efisiensi Penurunan	Kekeruhan (%)
250 µm	91,48%
500 µm	94,57%
1.000 µm	79,04%
2.000 µm	59,53%

Variasi ukuran yang lebih kecil memiliki kemampuan untuk menurunkan tingkat kekeruhan yang lebih baik dibandingkan ukuran koagulan yang lebih besar. Terlihat dari tingginya efisiensi penurunan kekeruhan pada koagulan dengan ukuran 250 µm dan 500 µm dengan efisiensi penurunan maksimum mencapai 94,57% pada koagulan dengan ukuran partikel 500 µm. Hal ini dikarenakan koagulan dengan ukuran kecil memiliki luas permukaan yang besar sehingga memudahkan dalam pembentukan flok. Hasil ini sesuai dengan studi yang telah dilakukan oleh Wardani dan Agung (2016) dimana diameter partikel memiliki pengaruh besar terhadap penurunan kekeruhan. Diameter partikel koagulan yang kecil memiliki luas kontak antar koagulan yang besar sehingga mempermudah terbentuknya flok dalam limbah.

Gambar 6. Pengaruh Variasi Ukuran Koagulan Terhadap Penurunan Kekeruhan pada Metode 2

Tabel 5. Efisiensi Penurunan Kekeruhan dengan Variasi Ukuran Koagulan pada Metode 2

Efisiensi Penurunan	Kekeruhan (%)
250 µm	76,63%
500 µm	78,28%
1.000 µm	47,42%
2.000 µm	45,01%

Dari Gambar 6 terlihat semua variasi ukuran partikel memiliki laju penurunan kekeruhan yang sama, kecuali koagulan dengan ukuran 1.000 μm dimana penurunan kekeruhan secara signifikan baru terjadi dimenit ke-20 dengan tingkat kekeruhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variasi dosis lainnya. Dari Tabel 5 terlihat bahwa untuk efluen metode 2, efisiensi penurunan kekeruhan terbaik terjadi ketika digunakan biji kelor dengan ukuran partikel adalah 500 μm dengan efisiensi penurunan sebesar 78,28%. Efisiensi penyisihan tingkat kekeruhan juga menurun ketika digunakan variasi ukuran pasrtikel 1.000 μm dan 2.000 μm . Hasil ini mengkonfirmasi penjelasan sebelumnya dimana besarnya ukuran partikel yang digunakan akan memperkecil luas kontak antara koagulan dan partikel koloid.

KESIMPULAN

Dosis biji kelor terbaik untuk efluen proses aerobik adalah 2.000 ppm dan untuk efluen proses kombinasi anaerobik-aerobik adalah 4.000 ppm dengan penurunan tingkat kekeruhan sebesar 78,28% dan 58,80%. Secara umum penggunaan dosis koagulan yang berlebihan akan meningkatkan kekeruhan karena kelebihan partikel koagulan akan meningkatkan kadar TSS dalam limbah. Untuk ukuran partikel koagulan, penggunaan koagulan dengan ukuran kecil akan memperluas kontak permukaan koagulan dengan partikel koloid. Diperoleh ukuran partikel optimum yaitu 500 μm dengan efisiensi penurunan untuk efluen proses aerobik sebesar 94,57% dan untuk efluen proses kombinasi anaerobik-aerobik sebesar 78,28%.

DAFTAR PUSTAKA

- Freitas, T. K. F. S., Oliveira, V. M., Souza, M. T. F. De, Geraldino, H. C. L., Almeida, V. C., Fávaro, S. L., & Garcia, J. C. (2015). Optimization of coagulation-flocculation process for treatment of industrial textile wastewater using okra (*A . esculentus*) mucilage as natural coagulant. *Industrial Crops & Products*, 76, 538–544.
- Gurnham, C. F. (1955). *Principles of industrial waste treatment*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Hendrawati, Nurhasni, & Syamsumarsih. (2003). Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica* L.) dan Biji Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus* L.) sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah. *Valensi ISSN : 1978- 8193 UIN Syarif Hidayatullah*, 3, 2233.
- Hidayat, S. (2009). Protein Biji Kelor Sebagai Bahan Aktif Penjernihan Air. *Biospesies*, 2(2), 12–17.
- Hussain, S., Ghouri, A. S., & Ahmad, A. (2019). Pine cone extract as natural coagulant for puri fi cation of turbid water. *Heliyon*, 5, e01420.
- Klašnja, M., Antov, M., Škrbic, B., & Šc, M. (2009). Removal of water turbidity by natural coagulants obtained from chestnut and acorn. *Bioresource Technology*, 100, 6639–6643.
- Kristijarti, A. P., Suharto, I., & Marienna. (2013). *Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi dalam Instalasi*

- Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu X Disusun Oleh : Prof. Dr. Ign Suharto, APU Marieanna, ST Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas.*
- Mishra, A., & Bajpai, M. (2006). The flocculation performance of Tamarindus mucilage in relation to removal of vat and direct dyes. *Bioresource Technology*, 97, 1055–1059.
- Oktariany, A., & Kartohardjono, S. (2018). Effect of Coagulant Dosage on Tofu Industry Wastewater Treatment in Combination with Ultrafiltration Process using Polysulfone Membrane. *E3S Web of Conferences*, 67, 4004.
- Rahmaningsih, Y. D., & Amanda, N. R. (2019). *Penambahan Koagulan Biji Asam Jawa dan Biji Kelor dalam Hasil Pengolahan Anaerobik-Aerobik dan Aerobik Limbah Cair Tahu*. Politeknik Negeri Bandung.
- Wardani, F. A., & Agung, T. (2016). Pemanfaatan Biji Asam Jawa (Tamarindus Indica) sebagai Koagulan Alternatif dalam Proses Pengolahan Air Sungai. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 7(2), 85–91.