

PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU MENGGUNAKAN METODE AERASI DAN KOAGULASI DENGAN BIJI KELOR (*MORINGA OLEIFERA*)

Warisul Ambia¹, Ratni Dewi^{2,*}, Cut Aja Rahmawati³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh - Medan km. 280,3 Buketrata, Mesjid Penteut, Blang Mangat, Kota Lhokseumawe, Aceh 24301, Indonesia

*e-mail: ratnidewi@pnl.ac.id

Abstract

Tofu industrial waste is waste that contains high organic compounds, has the potential to damage the environment and needs to be followed up. This study used aeration and coagulation methods with moringa oleifera seed powder. The purpose of this study was to study the best time and mass of moringa seeds in removing COD (Chemical Oxygen Demand), TDS (Total Dissolved Solid) contaminants, conductivity, turbidity and pH of tofu industrial wastewater. This research was started by pulverizing moringa seeds then sieved with an 80 mesh sieve and heated at 105°C for 2 hours to reduce the water content. The process of aeration and coagulation was continued by varying the dose of coagulant 45; 55; 65; 75; 85 g and variation of stirring time 15; 30; 45; 60; 75; 85 minutes. Based on the research results, the best time and dose were 75 minutes and 75 g with a percentage of COD removal of 97.5%, turbidity 81%, TDS 32.45%, conductivity 27.01%, an optimum pH value of 4.2 was obtained. The FTIR characterization results obtained the highest peak of 2926.01 cm⁻¹ indicating the presence of a carboxylic acid compound identifying the O-H functional group and experiencing a slight shift in the peak after coagulation and aeration of 2924.09 cm⁻¹, there was no significant change in solid structure. From these results it can be concluded that moringa seed biocoagulant is able to reduce contaminants in tofu waste.

Keywords: aeration, biocoagulant, coagulation, moringa seeds, tofu waste

PENDAHULUAN

Limbah industri tahu merupakan limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan tahu dan tempe. Limbah ini mengandung kadar organik yang tinggi dan berpotensi mencemari lingkungan [1]. Dalam proses pembuatan tahu dan tempe, limbah cair ini dihasilkan melalui proses pencucian kedelai dan proses fermentasi. Kadar organik yang tinggi dalam limbah ini dapat menyebabkan pencemaran air dan tanah jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, penanganan limbah industri tahu perlu dilakukan dengan memperhatikan faktor lingkungan agar dampak negatifnya dapat diminimalkan.

Pengolahan limbah industri tahu dapat dilakukan dengan cara menggunakan teknologi yang ramah lingkungan dan proses pengolahan yang efisien. Salah satu metode pengolahan limbah industri tahu adalah menggunakan proses aerasi dan koagulasi [2, 3].

Proses ini bertujuan untuk mengurangi kadar zat-zat berbahaya dalam limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Sebagai contoh, sebuah pabrik tahu dapat menggunakan sistem aerasi untuk mengoksidasi senyawa organik dalam limbahnya sebelum mencemari air. Selain itu, proses koagulasi juga dapat digunakan untuk menggumpalkan partikel-partikel berbahaya sehingga mudah dipisahkan dan

diolah lebih lanjut sebelum dibuang [4, 5].

Salah satu bahan yang dapat mengikat partikel yang tersuspensi dalam limbah cair industri tahu adalah biji kelor. Biji kelor memiliki kandungan protein yang tinggi dan mampu menyerap partikel-partikel tersebut [6, 7]. Dengan menggunakan biji kelor sebagai bahan koagulan, pabrik tahu dapat mengurangi risiko pencemaran lingkungan akibat limbah cair yang dihasilkan. Selain itu, biji kelor juga merupakan solusi ramah lingkungan karena merupakan bahan alami yang mudah terurai [8]. Dengan demikian, penerapan biji kelor dalam proses pengolahan limbah industri tahu dapat membantu menjaga kelestarian lingkungan sekitar pabrik.

Kajian penggunaan biji kelor sebagai koagulan dalam proses pengolahan limbah industri tahu telah dilakukan oleh para peneliti untuk mengetahui efektivitasnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biji kelor sebagai koagulan dapat efektif mengurangi kandungan zat organik dalam limbah cair industri tahu [9, 10]. Selain itu, biji kelor juga terbukti mampu mengikat logam berat yang terdapat dalam limbah tersebut [11, 12]. Dengan demikian, penerapan biji kelor sebagai bahan koagulan dalam proses pengolahan limbah industri tahu dapat menjadi solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh massa biji kelor dan waktu aerasi terhadap penyisihan kontaminan pada limbah cair industri tahu.

METODE

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan berikut.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *aeration apparatus*, erlenmeyer 100 mL, *crusher*, ayakan 80 mesh, neraca analitik, *beaker glass*, *turbidity*

meter, pipet ukur, *ball pipet*, *TDS meter*, *pH meter*, buret, tabung COD, pemanas COD.

Sementara bahan yang digunakan adalah biji kelor, limbah cair tahu, kalium kromat, *ferro ammonium sulfat (FAS)*, asam sulfat, merkuri sulfat, perak sulfat, dan *indicator ferroin*

Prosedur Penelitian

Pembuatan Serbuk Biji Kelor

Pembuatan serbuk biji kelor dapat dilakukan dengan langkah-langkah persiapan biji kelor dikeringkan dan kemudian dihaluskan menggunakan *crusher*. Selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Setelah itu, dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit. Dilakukan penimbangan hingga bobot sampel tetap kemudian dianalisa kadar airnya.

Prosedur Penelitian

Sampel limbah air tahu diambil dari *outlet* industri tahu. Selanjutnya dianalisa kandungan kadar awal COD, TDS, *turbidity*, konduktivitas dan pH awalnya. Kemudian limbah cair tahu dimasukkan ke dalam tabung *aerator apparatus*. Hubungkan kabel listrik alat *aerator apparatus* ke stop kontak dan hidupkan alat dengan menekan tombol *on off* yang berwarna merah. Selanjutnya putar *electric motor DC controller* untuk menggerakkan putaran pengaduk dan diatur kecepatan pengaduk pada 70 rpm. Serbuk biji kelor dimasukkan sesuai dengan yang variasi yang ditentukan. Selanjutnya saklar laju alir udara dihidupkan dan diatur laju alir *controller* udara pada 2 L/min. Selanjutnya hidupkan *stopwatch* sampai waktu operasi selesai sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Setelah waktu pengadukan selesai, matikan alat dan diamkan selama 1 jam. Sampel diambil secara hati hati dan dilakukan analisa kadar COD, *turbidity*, TDS, konduktivitas dan pH. Selanjutnya

diakukan untuk variasi lainnya sesuai dengan variabel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, maka diperoleh data pengamatan hasil analisa awal sampel limbah cair industri tahu seperti diberikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Analisa awal sampel limbah cair industry tahu

Sampel	Turbidity (NTU)	TDS (mg/L)	COD (mg/L)	Konduktivitas (µS)	pH
Sampel 1	1119	142	13.500	2920	3,4
Sampel 2	1058	148	12.000	2850	3,3
Sampel 3	1082	147	12.750	2890	3,4

Pembahasan

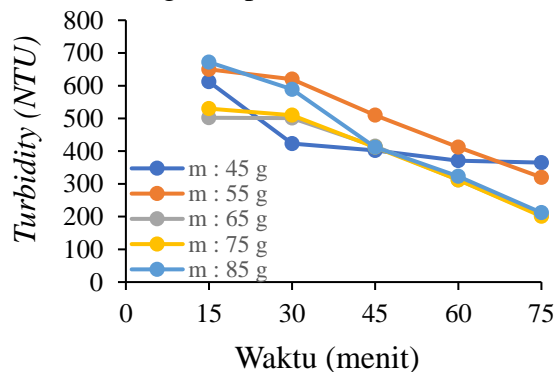
Penelitian ini diawali dengan menyiapkan koagulan dari biji kelor. Koagulan biji kelor yang digunakan berbentuk serbuk yang diperoleh dengan cara dicrusher dan dikeringkan menggunakan oven selama 2 jam pada suhu 105°C yang bertujuan untuk menurunkan kadar airnya, kadar air yang didapatkan setelah pengeringan sebesar 8%. Selanjutnya biji kelor diayak dengan ayakan 80 mesh agar diperoleh koagulan yang homogen sehingga serbuk biji kelor akan mudah membentuk flok ketika diambahkan ke dalam limbah cair industri tahu.

Proses aerasi dan koagulasi dilakukan dengan memvariasikan massa koagulan biji kelor 45; 55; 65; 75; 85 g dan variasi waktu proses 15; 30; 45; 65; 75; dan 85 menit. Dosis optimum biji kelor dapat dilihat pada masing-masing parameter pH, TDS (*Total Disolved Solid*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), turbidity dan konduktivitas.

Pengaruh Waktu dan Massa Koagulan terhadap Turbidity

Pengaruh waktu dan massa koagulan terhadap turbidity ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa

turbidity menurun dengan peningkatan waktu koagulasi dan massa koagulan. Kecenderungan ini dapat dijelaskan karena semakin lama waktu koagulasi maka pembentukan flok semakin banyak dan didukung dengan peningkatan massa koagulan yang mengikat partikel-partikel pencemar dalam limbah cair tahu yang semakin banyak, sehingga turbidity menurun dengan cepat.

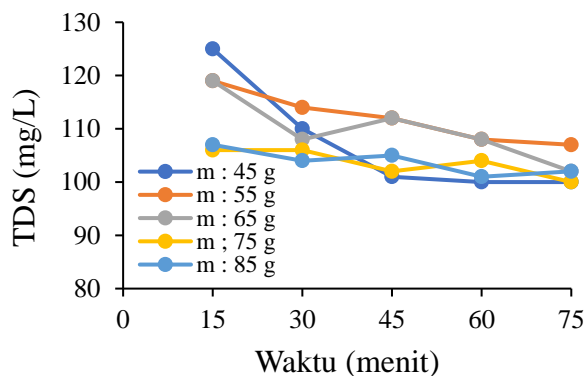


Gambar 1. Pengaruh waktu dan massa koagulan terhadap turbidity.

Hasil penelitian menunjukkan pada berat koagulan biji kelor 75 g dan waktu 75 menit sebagai dosis dan waktu terbaik dalam menurunkan kontaminan yang ada pada limbah cair industri tahu. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan semakin banyak penambahan dosis maka semakin tinggi penyisihan turbidity karena dosis koagulan sangat berpengaruh terhadap penyisihan turbiditas pada limbah cair industri tahu [10],

Pengaruh Waktu dan Massa Koagulan terhadap TDS

Total padatan terlarut dengan konsentrasi yang tinggi akan mengurangi kejernihan air dan akan menghambat penetrasi cahaya matahari masuk ke dalam air sehingga terjadi penurunan fotosintesis dan peningkatan suhu air [13]. Pengaruh waktu dan massa koagulan terhadap TDS diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh waktu dan massa koagulan terhadap TDS

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa peningkatan waktu dan massa koagulan biji kelor biji kelor mampu menurunkan kadar TDS. Hasil analisa TDS yang paling rendah diperoleh pada waktu koagulasi 75 menit dan massa koagulan biji kelor 75 gram. Hal ini disebabkan karena peningkatan waktu koagulasi dan massa koagulan biji kelor maka pembentukan flok-flok padatan terlarut semakin banyak dan membesar sehingga lebih mudah dalam pengendapan. Penurunan TDS dapat terjadi karena dalam biji kelor terkandung protein makromolekul bersifat polielektrolit yang bermuatan positif. Protein dalam biji kelor akan larut dan menarik partikel-partikel yang bermuatan negatif. Hasil ini berkesesuaian dengan kajian yang dilakukan oleh Mali [13].

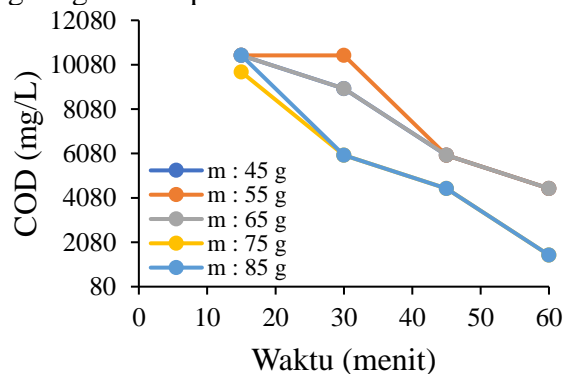
Hasil penelitian menunjukkan waktu dan massa koagulan yang memberikan nilai TDS terkecil adalah pada 75 menit dan 75 g koagulan biji kelor dengan persentase penurunan sebesar 32,45 %.

Pengaruh Waktu dan Massa Koagulan terhadap COD

Koagulasi adalah salah satu metode yang efektif untuk menurunkan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dalam limbah cair, termasuk limbah cair tahu. Pengaruh waktu dan massa koagulan biji kelor terhadap COD diperlihatkan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin lama waktu koagulasi dan peningkatan

jumlah biji kelor maka kadar COD limbah cair tahu semakin menurun. Penurunan ini disebabkan koagulan biji kelor mengandung ion bermuatan positif yang dapat menetralkan muatan negatif partikel-partikel koloid dan zat organik yang menyebabkan tinggi COD. Ion-ion yang terdapat pada koagulan yang bermuatan positif berinteraksi dengan partikel koloid bermuatan negatif. Interaksi ini mengakibatkan pengurangan gaya tolak-menolak antar partikel, sehingga partikel-partikel tersebut mulai saling mendekat dan membentuk mikroflokk dan dengan peningkatan waktu akan membentuk makroflokk yang mudah mengendap [14].

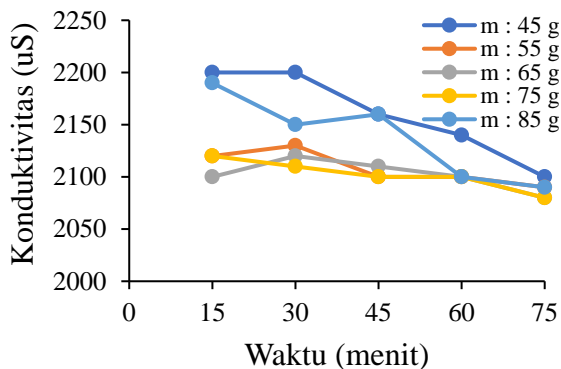
Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu terbaik adalah pada 75 menit dengan penambahan koagulan biji kelor sebanyak 75 gram yang dapat menurunkan kadar COD hingga 300 mg/L. Nilai ini sesuai dengan baku mutu Air Limbah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2014.



Gambar 3. Pengaruh waktu dan massa koagulan terhadap COD

Pengaruh Waktu dan Massa Koagulan terhadap Konduktivitas

Pengaruh waktu dan massa koagulan biji kelor terhadap konduktivitas diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh waktu dan massa koagulan terhadap konduktivitas

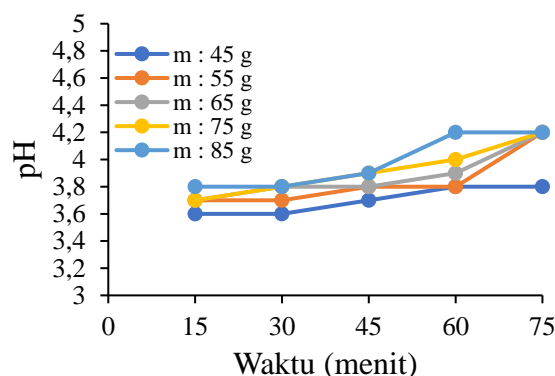
Dari Gambar 4 terlihat bahwa semakin lama waktu koagulasi dan peningkatan massa biji kelor maka konduktivitas limbah cair tahu semakin menurun. Penurunan ini disebabkan karena senyawa aktif dalam biji kelor, seperti protein dan polielektrolit alami, mulai berdispersi ke dalam larutan. Senyawa-senyawa ini membawa muatan positif yang dapat berinteraksi dengan partikel-partikel tersuspensi dan zat terlarut dalam limbah yang biasanya bermuatan negatif. Protein dalam biji kelor, terutama protein kationik, bekerja dengan menetralkan muatan negatif partikel koloid dan zat organik yang ada dalam limbah cair tahu. Netralisasi muatan ini mengurangi gaya tolak-menolak antara partikel-partikel, memungkinkan mereka untuk saling mendekat dan membentuk agregat sehingga terbentuk flok-flok yang mudah mengendap.

Konduktivitas awal limbah cair tahu adalah 2920 μ S, dan dengan penambahan sebanyak 75gram dan waktu koagulasi selama 75 menit, diperoleh nilai konduktivitas sebesar 2090 μ S. Hal yang serupa juga terjadi pada penelitian sebelumnya yang juga menemukan bahwa konduktivitas menurun seiring bertambahnya waktu kontak hingga menit ke 60-75 [15].

Pengaruh Waktu dan Massa Koagulan terhadap pH

Penggunaan biji kelor sebagai koagulan alami dapat mempengaruhi pH limbah cair tahu. Pengaruh waktu dan massa

koagulan biji kelor terhadap pH limbah cair tahu diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh variasi waktu dan massa koagulan terhadap pH

Dari Gambar 5 terlihat bahwa pH limbah cair industri tahu cenderung sedikit meningkat dengan peningkatan waktu koagulasi dan peningkatan massa koagulan biji kelor. Hal ini disebabkan adanya interaksi kimia dan fisika yang terjadi antara senyawa aktif dalam biji kelor dan komponen limbah cair tahu. Biji kelor mengandung berbagai senyawa aktif, termasuk protein, polielektrolit alami, dan senyawa organik lainnya. Protein kationik dalam biji kelor adalah salah satu komponen utama yang berperan dalam proses koagulasi. Ketika biji kelor ditambahkan ke dalam limbah cair tahu, protein kationik dalam biji kelor berinteraksi dengan partikel koloid dan zat organik yang bermuatan negatif dalam limbah yang menyebabkan netralisasi muatan sehingga mengurangi keasaman larutan, yang bisa sedikit meningkatkan pH.

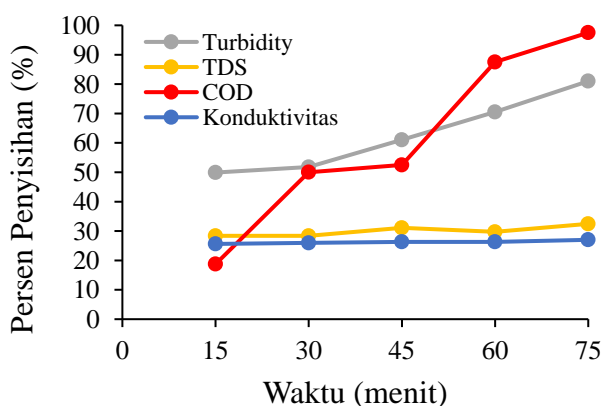
Hasil pengukuran pH limbah cair tahu sedikit mengalami peningkatan dari pH awal 3,3 dan pH tertinggi diperoleh 4,2. Proses koagulasi dengan biji kelor memberikan pengaruh kecil terhadap derajat keasaman karena biji kelor bersifat asam sehingga dalam penelitian ini penggunaan biji kelor berpengaruh kecil terhadap kadar terbaik derajat keasaman air limbah tahu.

Hal ini dapat disimpulkan bahwa koagulan biji kelor tidak terlalu efektif untuk menurunkan kadar derajat keasaman dan

nilai akhir pH limbah cair tahu belum memenuhi standar baku mutu Air Limbah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2014 yaitu 6-9. Hal yang sama juga terjadi pada penelitian sebelumnya dimana penambahan biji kelor menghasilkan pH air limbah berkisar 3,9 [10].

Persentase Penyisihan Parameter Analisa pada Dosis 75 g

Persentase penyisihan parameter yang dianalisa pada kondisi terbaik yaitu massa koagulan 75gram terhadap parameter *turbidity*, TDS, COD, dan konduktivitas diperlihatkan pada Gambar 6. Penyisihan kontaminan pada limbah cair industri tahu terjadi pada semua variasi massa dan waktu, efisiensi penyisihan yang paling baik terjadi pada dosis 75 g. Dari Gambar 6 terlihat bahwa penyisihan parameter *turbidity* meningkat secara signifikan dengan peningkatan waktu koagulasi. Hal ini juga berlaku untuk parameter konduktivitas, Dimana persentase penyisihan konduktivitas meningkat secara signifikan dengan peningkatan waktu koagulasi. Sedangkan untuk parameter TDS dan COD, persentase peningkatan kedua parameter ini cenderung kecil.



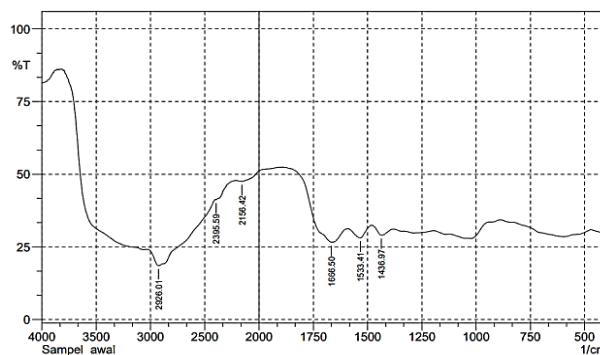
Gambar 6. Persentase penyisihan pada massa koagulan 75 g

Penyisihan kontaminan pada limbah cair industri tahu terjadi pada semua variasi dosis dan waktu, efisiensi penyisihan yang paling baik terjadi pada dosis 75 g. Dari

Gambar 6 dapat kita lihat bahwa kadar penyisihan kontaminan COD dan *turbidity* pada limbah tahu mengalami penyisihan yang paling signifikan dibandingkan dengan parameter yang lain. Penurunan parameter ini terjadi saat koagulan serbuk biji kelor bermuatan positif untuk menetralkan partikel koloid dan tersuspensi pada limbah cair yang memiliki muatan negatif dengan berat molekul rendah, reaksi ini menyebabkan gaya tarik menarik antar partikel koloid membentuk mikroflor [16]. Partikel koloid yang saling berikatan membentuk flok-flok menjadi flok dengan ukuran yang lebih besar sehingga terjadi pengendapan dengan cepat. Penambahan oksigen atau *aerasi bubble* juga berpengaruh dengan penyisihan kontaminan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan penurunan COD terjadi akibat proses pelarutan oksigen ke dalam air untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air sehingga dapat memberikan suplai oksigen kepada mikroorganisme pengurai untuk menurunkan kadar organik dalam limbah [17].

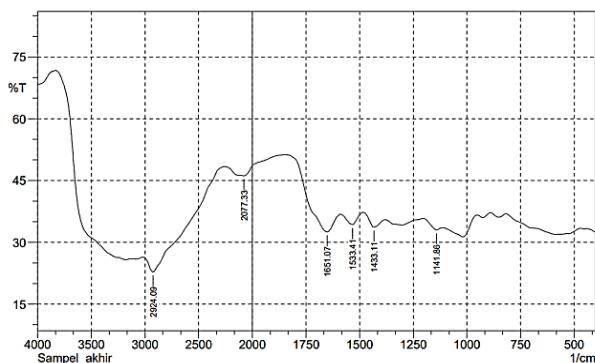
Karakterisasi Gugus Fungsi Biji kelor Menggunakan FTIR

FTIR adalah instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dari suatu sampel berupa padatan, cairan, ataupun gas yang belum diketahui strukturnya. Spektra FTIR untuk serbuk biji kelor awal diberikan pada Gambar 7.



Gambar 7 Spektra FTIR serbuk biji kelor awal

Dari Gambar 7 dapat terlihat puncak vibrasi serbuk biji kelor pada data IR terjadi stretching O-H senyawa *carboxylic acid*, O=C=O, C=C=O, C=C, N – O, pada puncak 2.926,01; 2.395,59; 2.156,42; 1.666,50; 1.533,4 cm^{-1} *blending* O–H pada puncak 1436.97 cm^{-1} . Munculnya senyawa asam karboksilat menandakan adanya protein dalam biokoagulan serbuk biji kelor.



Gambar 8 Spektrum FTIR serbuk biji kelor setelah koagulasi

Berdasarkan Gambar 8 dapat kita simpulkan spectrum hasil endapan proses aerasi dan koagulasi dengan serbuk biji kelor mengalami sedikit pergeseran puncak vibrasi baik *stretching* ataupun *blending*, pada puncak 2.924,09 cm^{-1} terjadi *stretching* O – H, puncak 2.077,33 cm^{-1} terjadi *stretching* N=C=S, puncak 1.651,07 cm^{-1} terjadi *stretching* C=C, puncak 1.533,41 cm^{-1} terjadi *stretching* N–O, puncak 1.433,11 cm^{-1} terjadi *blending* O–H merupakan asam organik yang terkandung dalam campuran biji kelor dan endapan limbah tahu, dengan demikian puncak-puncak spectrum yang muncul mampu mengikat dan mengkoagulasi partikel dalam air limbah tahu, hal ini sesuai dengan penelitian Bertus [18]. Dengan adanya perbedaan spectrum IR yang muncul antara serbuk biji kelor sebelum proses aerasi dan koagulasi dengan spectrum IR sesudah tahapan prosesnya menunjukkan senyawa organik biji kelor mampu mengabsorpsi partikel-partikel koloid dalam air limbah.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Massa koagulan biji kelor dan waktu koagulasi berpengaruh terhadap parameter limbah cair industri tahu.
2. Semakin lama waktu koagulasi dan semakin berat koagulan biji kelor maka terjadi penurunan terhadap parameter *turbidity*, TDS, COD, dan konduktivitas limbah cair industri tahu.
3. Waktu koagulasi terbaik diperoleh pada 75 menit dan massa koagulan biji kelor 75 gram.
4. Penyisihan kadar kontaminan paling signifikan terjadi pada parameter COD dan *turbidity*, dengan persentase penyisihan COD 97,5% dan *turbidity* 80%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penulisan artikel ini

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Habibunnisa, H. *et al.*, 2023. *Proses pembuatan tahu putih di Desa Sei Baman Dusun Tahun X Kec. Batang Serangan Kab. Langkat*. Jurnal Dirosah Islamiyah, Vol. 5, No. 2, pp. 528-534.
- [2] Pradana, T. D., Suharno, S., and Apriansyah, A., 2018. *Pengolahan limbah cair tahu untuk menurunkan kadar TSS dan BOD*. Jurnal Vokasi Kesehatan, Vol. 4, No. 2, pp. 56.
- [4] Nahrawi, M., Dewi, R., and Harunsyah, H., 2024. *Kombinasi proses koagulasi dan aerasi menggunakan biji asam jawa (tamarindus indica) sebagai biokoagulan pada limbah cair industri*

- tempe. Jurnal Teknologi, Vol. 24, No. 1, pp. 1-8.
- [5] Ulwia, U. and Soumena, R., 2017. *Pengaruh dosis koagulan serbuk biji asam jawa (tamarindus indica l.) terhadap penurunan kadar bod dan cod pada limbah cair industri tahu.* Global Health Science, Vol. 2, No. 4, pp. 332-335.
- [6] Kurniaty, I., Febriyanti, Y., and Septian, R., 2018. *Isolasi protein biji kelor (moringa oleifera) menggunakan proses hidrolisis.* Prosiding Semnastek.
- [7] Nurhayati, N., Mappiratu, M., and Musafira, M., 2018. *Pembuatan konsentrat protein dari biji kelor (Moringa oleifera L.) dan analisis profil asam amino.* KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, Vol. 4, No. 1, pp. 24-32.
- [8] Kristianto, H., Prasetyo, S., and Sugih, A. K., 2019. *Pemanfaatan ekstrak protein dari kacang-kacangan sebagai koagulan alami.* Jurnal Rekayasa Proses, Vol. 13, No. 2, pp. 65-80.
- [9] Setyawati, H. et al., 2018. *Efektifitas biji kelor dan tawas sebagai koagulan pada peningkatan mutu limbah cair industri tahu.* Jurnal Teknik Kimia, Vol. 12, No. 2, pp. 47-51.
- [10] Setyawati, H., ST Salamia, L., and Sari, S. A., 2018. *Penerapan penggunaan serbuk biji kelor sebagai koagulan pada proses koagulasi flokulasi limbah cair pabrik tahu di sentra industri tahu Kota Malang.* Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri, Vol. 8, No. 1, pp. 21-31.
- [11] Abatal, M. et al., 2021. *Comparison of heavy metals removal from aqueous solution by Moringa oleifera leaves and seeds.* Coatings, Vol. 11, No. 5, pp. 508.
- [12] Ravikumar, K. and Udayakumar, J., 2020. *Moringa oleifera seed composite a novel material for hazardous heavy metals (Cd, Cr and Pb) removal from aqueous systems.* Journal of Materials and Environmental Science, Vol. 11, pp. 123-138.
- [13] Mali, M. I., Kolo, M. M., and Tea, M. T. D., 2022. *Pemanfaatan tanaman lokal biji kelor (moringa oleifera) sebagai biokoagulan pada proses penjernihan mata air di Desa Maurisu Kabupaten Timor Tengah Utara.* Jurnal Saintek Lahan Kering, Vol. 5, No. 2, pp. 30-33.
- [14] Novita, E., Indarto, I., and Hasanah, T. L., 2016. *Optimasi penggunaan koagulan alami biji kelor (Moringa oleifera) pada pengolahan limbah cair mocaf.* Jurnal Agroteknologi, Vol. 8, No. 02, pp. 171-178.
- [15] Nur, A. and Komala, P. S., 2020. *Penyisihan senyawa organik pada air limbah tahu menggunakan proses elektrokoagulasi pasangan elektroda aluminium.* Jurnal Dampak, Vol. 17, No. 2, pp. 62-71.
- [16] Haslinah, A., 2020. *Ukuran partikel dan konsentrasi koagulan serbuk biji Kelor (Moringa oleifera) terhadap penurunan persentase COD dalam limbah cair industri tahu.* ILTEK: Jurnal Teknologi, Vol. 15, No. 01, pp. 50-53.
- [17] Komala, R. and Aziz, S., 2019. *Pengaruh proses aerasi terhadap pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit di PTPN VII secara aerobik.* Jurnal Redoks, Vol. 4, No. 2, pp. 7-16.
- [18] Bertus, M. Y. P., Suherman, S., and Sabang, S. M., 2014. *Karakterisasi FTIR poliblend adsorben serbuk biji buah kelor (moringa oleifera) dan cangkang ayam ras untuk pengolahan air gambut di daerah Palu Barat.* Jurnal Akademika Kimia, Vol. 3, No. 1, pp. 21-29.