PENANGANAN AIR LIMBAH INDUSTRI KOPI DENGAN METODE KOAGULASI-FLOKULASI MENGGUNAKAN KOAGULAN ALAMI BIJI ASAM JAWA (*TAMARINDUS INDICA L.*)

*Coffee Industry Wastewater Treatment with Coagulation-Flocculation Method Using a Natural Coagulant of Tamarind Seeds (*Tamarindus indica L.*)*

Elida Novita^{1*}, Moh. Bagus Salim¹, Hendra Andiananta Pradana²

¹Jurusan Teknik Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Jember

²Magister Pengelolaan Sumber Daya Air Pertanian/ Alam dan Lingkungan – Pascasarjana – Universitas Jember
Kampus TegalBoto - Jl. Kalimantan No.37 – Jember 68121

*Penulis Korespondensi, email: elida_novita.ftp@unej.ac.id

Disubmit: 30 November 2020 Direvisi: 1 Maret 2021 Diterima: 16 April 2021

ABSTRAK

Proses pengolahan kopi basah menghasilkan air limbah yang mengandung bahan organik yang tinggi dan berpotensi mencemari air dan tanah. Salah satu upaya yang dilakukan untuk penanganan air limbah pengolahan kopi adalah proses koagulasi-flokulasi. Faktor utama terjadinya proses koagulasi flokulasi adalah koagulan. Biji asam jawa berpotensi dimanfaatkan sebagai koagulan sebab mengandung protein yang cukup tinggi dan diharapkan dapat berperan sebagai polielektrolit yang lebih ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perlakuan koagulasi-flokulasi terbaik dalam memperbaiki kualitas air limbah pengolahan kopi berdasarkan ukuran dan dosis koagulan dari biji asam jawa. Preparasi koagulan dari biji asam jawa dilakukan dengan tahapan pengeringan hingga mencapai kadar air 10% dan pengecilan ukuran mesh 80 (0,177 mm), 100 (0,149 mm), dan 150 (0,098 mm). Kecepatan yang digunakan pada proses koagulasi yaitu 300 rpm pengadukan cepat selama 1 menit dan 50 rpm pengadukan lambat selama 15 menit. Dosis yang digunakan yaitu 1500 mg/l, 2500 mg/l, dan 3500 mg/l. Indikator yang diamati yaitu TSS, TDS, kekeruhan, dan COD. Metode pengolahan data menggunakan uji *Analysis of Variance* (ANOVA) dan uji lanjut *Tukey*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koagulasi-flokulasi menggunakan serbuk biji asam jawa dengan perlakuan ukuran mesh 150 dan dosis 1500 mg/l merupakan alternatif tertinggi dalam menurunkan konsentrasi bahan pencemar pada air limbah pengolahan kopi. Kombinasi tersebut menghasilkan nilai efisiensi penurunan parameter TSS, TDS, kekeruhan, dan COD secara berurutan yaitu 79,24%; 82,74%; 61,79%; dan 61,63%. Biji asam jawa dalam bentuk serbuk berpotensi dimanfaatkan sebagai koagulan alami dalam penanganan air limbah pengolahan kopi menggunakan metode koagulasi-flokulasi

Kata kunci : Biji Asam Jawa; Flokulasi; Koagulasi; Kopi

ABSTRACT

The wet treatment process of coffee processing produces wastewater which contains mainly organic matter which can water and soil pollution impact. One of treatment for coffee processing wastewater is coagulation-flocculation. Coagulant is key factor in the coagulation-flocculation. Tamarind seeds as natural coagulant contain high protein which is expected to act as a more environmentally friendly polyelectrolyte. This study aims to determine the best coagulation-flocculation treatment in improving the quality of coffee processing wastewater based on variations in the size and dose of the coagulant from tamarind seed. The coagulant preparation from tamarind seeds was dried (water content < 10%) and size reduction i.e. 80 (0.177 mm), 100 (0.149 mm), and 150 (0.098 mm) mesh. The speed used in the coagulation process is 300 rpm fast stirring for 1 minute and 50 rpm slow stirring for 15 minutes. The coagulant doses were 1500 mg/l, 2500 mg/l, and 3500 mg/l. The indicators observed were TSS, TDS, turbidity, and COD. Methods of data processing using the analysis of variance (ANOVA) test and Tukey's continued test. The results showed that

coagulation-flocculation using tamarind seed powder using size 150 mesh and dose 1500 mg/l was the highest alternative for pollutant concentration reduction in coffee processing wastewater. The combination treatment resulted in the reduction efficiency value of TSS 79.24%, TDS 82.74%, turbidity 61.79%, and COD 61.63%. Tamarind seed powder has the potential as a natural coagulant in the treatment of coffee processing wastewater using the coagulation-flocculation method.

Keywords : Coagulation-Flocculation; Coffee; Tamarind Seeds

PENDAHULUAN

Kopi merupakan komoditas utama di Kabupaten Bondowoso. Jumlah produksi kopi per tahun di Kabupaten Bondowoso selalu meningkat. Pada tahun 2017 tercatat jumlah produksi kopi sebanyak 8670 ton (Badan Pusat Statistik, 2018). Pengolahan kopi secara basah dilakukan dengan memasukkan buah kopi ke dalam silinder putar, kemudian menyemprotkan air bersamaan dengan buah kopi yang akan dikupas, dibutuhkan sekitar 7-9 m³ air per ton nya pada proses olah pencucian. Air limbah pengolahan kopi memiliki nilai TSS sebesar 127-140 mg/l, kekeruhan sebesar 395-448 NTU, dan COD sebesar 3360-3762 mg/l (Novita *et al.*, 2019). Dampak dari air limbah pengolahan kopi jika dialirkan secara langsung pada perairan tanpa pengolahan terlebih dahulu yaitu berkurangnya oksigen karena tingginya nilai BOD dan COD, serta terjadi pengurangan oksigen terlarut dapat menyebabkan kondisi anaerobik perairan karena kebutuhan oksigen untuk menguraikan bahan organik material melebihi ketersediaan oksigen.

Salah satu metode yang dapat diaplikasikan untuk mereduksi kandungan bahan organik pada air limbah pengolahan kopi adalah koagulasi-flokulasi. Aplikasi koagulasi-flokulasi pada air limbah pengolahan kopi menggunakan serbuk biji kelor sebagai koagulan alami mampu menurunkan konsentrasi TSS dan COD secara berurutan sebesar 69,44% dan 41,80% (Novita *et al.*, 2019). Koagulan alami yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji asam jawa. Pemilihan biji asam jawa karena memiliki potensi sebagai biokoagulan, biji asam jawa mengandung protein yang cukup tinggi dan diharapkan dapat berperan sebagai polielektrolit alami yang kegunaannya mirip dengan koagulan sintetik (Hendrawati *et al.*, 2013; Ang *et al.*, 2020).

Zat aktif lain yang terkandung dalam biji asam jawa yaitu tanin dan saponin berguna untuk membunuh bakteri dan membentuk larutan koloidal (Andre *et al.*, 2015). Polisakarida dan tanin yang terkandung dalam biji asam jawa lebih ramah lingkungan dibanding dengan koagulan kimia. Proses koagulasi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, pH, kekeruhan, dosis koagulan, kecepatan pengadukan, ukuran partikel koagulan, kadar ion terlarut dan alkalinitas (Rahimah *et al.*, 2016; Martina *et al.*, 2018). Efisiensi penanganan air limbah menggunakan metode koagulasi-flokulasi ditentukan oleh dosis koagulan dan pH limbah, semakin tinggi dosis koagulan akan mengakibatkan kecenderungan flok untuk mengapung bertambah, tidak mengendap, dan lebih lagi akan menyebabkan kekeruhan lebih meningkat. pH air limbah juga berpengaruh besar dalam proses koagulasi-flokulasi (Novita *et al.*, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perlakuan koagulasi-flokulasi terbaik dalam memperbaiki kualitas air limbah pengolahan kopi berdasarkan ukuran dan dosis koagulan dari biji asam jawa.

METODE

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah jurigen air 30 liter, *jart test health h-fl-6 flocculator*, pH meter *calibration check hi 223*, neraca analitik Ohaus, *beaker glass* merk pyrex 1000 ml, *beaker glass* merk Pyrex 500 ml, turbidimeter TN-100, stopwatch, ayakan (80, 100, dan 120 mesh), cawan aluminium, cawan porselin, kertas saring Whatman no. 42, oven merk Memmert, blender, cod reaktor, spektrofotometer, dan pompa vakum. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air limbah kopi, biji asam jawa, air suling bebas ion, reagen COD HR (*High Range*), NaOH 1 M, dan H₂SO₄ 1 M.

Tahapan penelitian yaitu pengambilan contoh air limbah pengolahan kopi dengan cara menampung air limbah hasil pencucian biji kopi dari industri kopi, pengukuran kualitas air limbah berdasarkan parameter TSS, TDS, kekeruhan, dan COD. Penelitian pendahuluan berupa preparasi koagulan biji asam jawa dan pengaturan kecepatan pengadukan, percobaan koagulasi-flokulasi menggunakan variasi ukuran dan dosis koagulan, serta analisis sintesis hasil kajian menggunakan diskriptif kuantitatif.

1. Preparasi Koagulan Biji Asam Jawa

Preparasi biji asam jawa sebagai koagulan dilakukan dengan pengeringan biji, pengecilan ukuran biji hingga menjadi serbuk, pengayakan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan yaitu mesh 80 (0,177 mm), 100 (0,149 mm), dan 150 (0,098 mm). Kadar air koagulan yang efektif untuk digunakan pada proses koagulasi flokulasi adalah sekitar 10% hal tersebut karena kadar air dapat mempengaruhi kemampuan koagulan dalam menyerap air limbah, semakin besar kandungan air pada koagulan maka semakin kecil daya serapnya. Pada penelitian ini didapatkan nilai kadar air setelah pengeringan sebesar 7% (Bangun *et al.*, 2013).

2. Pengaturan Kecepatan

Kecepatan yang digunakan pada proses koagulasi yaitu 300 rpm pengadukan cepat selama 1 menit dan 50 rpm pengadukan lambat selama 15 menit. Pengaturan pengadukan dilakukan pada jar test. Rekomendasi kecepatan pengadukan dalam penanganan air limbah dari aktivitas pertanian pada tahapan koagulasi adalah 300–500 rpm selama 1 menit dan flokulasi adalah 50–150 rpm selama 15 menit (Mahardiko, 2016; Novita *et al.*, 2019).

3. Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Rancangan penelitian yaitu terdapat 9 perlakuan sampel dengan masing-masing perlakuan dilakukan 3 kali pengulangan. Kombinasi perlakuan disajikan pada Tabel 1.

Hasil dari beberapa perlakuan direpresentasikan dalam tabel dan grafik untuk mempermudah analisis sintesis. Analisis data menggunakan uji statistik analisis sidik ragam atau *Analysis of Variance* (ANOVA) dan uji lanjut uji *Tukey* untuk mengetahui perbedaan perlakuan. Selanjutnya digunakan sebagai pertimbangan pemilihan ukuran dan dosis koagulan dari biji asam jawa pada penanganan

air limbah pengolahan kopi. Metode tersebut merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Mahardiko (2016), uji coba perlakuan variasi pH koagulan, perlakuan pemberian dosis dan ukuran koagulan serta analisis menggunakan uji statistik ANOVA dan uji lanjut menggunakan uji *Tukey*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengukuran Kualitas Air Limbah kopi

Air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah hasil dari proses pencucian fermentasi biji kopi. Data hasil pengukuran parameter awal disajikan pada Tabel 2.

Nilai parameter menunjukkan nilai yang relatif tinggi. Penelitian yang telah dilakukan oleh Novita *et al.*, (2019) menunjukkan hasil penelitian nilai karakteristik air limbah pengolahan kopi nilai TSS sebesar 127-140 mg/l, kekeruhan sebesar 395-448 NTU, dan COD sebesar 3360-3762 mg/l. Nilai yang dihasilkan dalam pengukuran TSS, TDS, dan kekeruhan sangat tinggi. Fenomena tersebut diasumsikan akibat pencucian biji kopi hasil proses fermentasi kopi dilakukan secara manual sehingga air yang digunakan juga terbatas menyebabkan nilai yang cukup tinggi, berbeda dengan industri yang sudah dalam skala besar air cucian melimpah karena bak yang digunakan juga lebih lebar dan luas.

2. Uji Coba Perlakuan Variasi pH Koagulan

Air limbah kopi memiliki nilai pH sebesar 5,2 atau dalam kondisi asam sehingga perlu dilakukan penentuan pH optimal. Pada pH kecil terjadinya tumbukan antar partikel sangat kecil dan pada kondisi asam juga mempengaruhi terbentuknya flok, koagulasi flokulasi memiliki tingkat keberhasilan pada pH tinggi (Novita *et al.*, 2019). Berikut merupakan hasil dari penentuan pH optimum dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1. pada pH 4–8 mengalami penurunan nilai kekeruhan. Kondisi tersebut disebabkan oleh ion positif (H^+) menangkap ion negatif (OH^-) akan tetapi masih belum optimal. pH optimal terjadi pada pH 9 karena terjadi kondisi normal yaitu kondisi dimana ion positif (H^+) dan ion negatif (OH^-) yang terkandung dalam air limbah pengolahan kopi berikatan secara

Tabel 1. Kombinasi perlakuan

		Dosis (mg/l)		
		1500 (D1)	2500 (D2)	3500 (D3)
Ukuran (Mesh)	80 (U1)	80 × 1500 (U1D1)	80 × 2500 (U1D2)	80 × 3500 (U1D3)
	100 (U2)	100 × 1500 (U2D1)	100 × 2500 (U2D2)	100 × 3500 (U2D3)
	150 (U3)	150 × 1500 (U3D1)	150 × 2500 (U3D2)	150 × 3500 (U3D3)

Keterangan kombinasi perlakuan :

U1 : Ukuran mesh 80

U2 : Ukuran mesh 100

U3 : Ukuran mesh 150

D1 : Dosis 1500 (mg/l)

D2 : Dosis 2500 (mg/l)

D3 : Dosis 3500 (mg/l)

Tabel 2. Karakteristik awal air limbah pengolahan kopi

Karakteristik	Nilai
TSS (mg/l)	5947,56
TDS (mg/l)	10506,22
Kekeruhan (NTU)	815,00
COD (mg/l)	3344,44

Tabel 3. Hasil pengukuran nilai TSS

Perlakuan	Nilai TSS Limbah Awal (mg/l)	Nilai TSS Limbah Akhir (mg/l)	Efisiensi Penurunan (%)
U1D1	5947,56	2607,78	56,15
U1D2		2218,89	62,69
U1D3		2088,89	64,88
U2D1		2104,44	64,62
U2D2		1694,44	71,51
U2D3		1454,44	75,55
U3D1		1234,44	79,24
U3D2		1386,67	76,69
U3D3		2096,67	64,75

Tabel 4. Hasil analisis ANOVA terhadap nilai akhir TSS

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel
Dosis	59,16	2	29,58	0,02	3,55
Ukuran	742,56	2	371,28	0,30	3,56
Interaksi	606,95	4	151,74	0,12	2,93
Galat/Error	22300,73	18	1238,93		
Total	23709,40	26			

Tabel 5. Hasil pengukuran nilai TDS

Perlakuan	Nilai TDS Limbah Awal (mg/l)	Nilai TDS Limbah Akhir (mg/l)	Efisiensi Penurunan (%)
U1D1	10506,22	2172,67	79,32
U1D2		2122,67	79,80
U1D3		2076,67	80,23
U2D1		2046,00	80,53
U2D2		2015,33	80,82
U2D3		1964,00	81,31
U3D1		1813,33	82,74
U3D2		1852,00	82,37
U3D3		1960,67	81,34

Tabel 6. Hasil analisis ANOVA terhadap nilai akhir TDS

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel
Dosis	9,87	2	4,94	645,30	3,55
Ukuran	20,60	2	10,30	1346,11	3,55
Interkasi	0,14	4	0,04	4,55	2,93
Galat/ Error	0,14	18	0,01		
Total	30,75	26			

Tabel 7. Hasil analisis *Tukey* ukuran mesh terhadap nilai akhir TDS

Ukuran Mesh	<i>Tukey</i>	HSD	Keterangan
80 mesh dengan 100 mesh	1,61	0,04	rata rata berbeda nyata
80 mesh dengan 150 mesh	2,03	0,04	rata rata berbeda nyata
100 mesh dengan 150 mesh	0,42	0,04	rata rata berbeda nyata

Tabel 8. Hasil analisis ANOVA terhadap nilai akhir TDS

Dosis	<i>Tukey</i>	HSD	Keterangan
1500 mg dg 2500 mg (a)	0,577	0,0350	rata rata berbeda nyata
1500 mg dg 3500 mg (b)	0,893	0,0350	rata rata berbeda nyata
2500 mg dg 3500mg (c)	1,470	0,0350	rata rata berbeda nyata

sempurna (seimbang) dan menyebabkan terbentuknya flok yang lebih besar dan akhirnya mengendap. Pada pH 10 nilai kekeruhan semakin tinggi karena ion positif lebih banyak dari pada ion negatif (Novita *et al.*, 2019).

3. Analisis Efisiensi Penurunan Nilai Parameter TSS

Grafik berwarna jingga merupakan nilai TSS limbah akhir setelah perlakuan, sedangkan grafik berwarna biru merupakan nilai TSS limbah awal dalam satuan mg/l. Nilai penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan kombinasi U3D1 (mesh 150 dan dosis 1500 mg/l) yang terlihat pada Gambar 2. Penurunan disebabkan oleh pemberian koagulan serbuk biji asam jawa.

Koagulan alami berupa serbuk biji asam jawa mampu mengikat muatan yang terdapat dalam air limbah pengolahan kopi. Polimer koagulan memiliki muatan yang berkebalikan dengan polimer yang terdapat di dalam air limbah pengolahan kopi. Fenomena tersebut mengakibatkan terjadinya kondisi tarik menarik antara serbuk koagulan biji asam jawa dengan koloid air limbah pengolahan kopi yang kemudian terbentuklah endapan. Nilai TSS juga dipengaruhi oleh ukuran partikel koagulan yang digunakan. Jika semakin kecil ukuran partikel koagulan yang digunakan akan memperluas permukaan tumbukan antara koagulan dengan koloid sehingga terbentuklah flok yang sempurna, namun pemberian koagulan harus diimbangi dengan dosis yang tepat agar koagulasi flokulasi terjadi secara maksimal. Menurut Novita *et al.* (2014), dosis koagulan yang tepat akan menyebabkan distabilisasi koloid yang membentuk mikroflok dan pada akhirnya terbentuk makroflok sehingga terjadi pengendapan. Salah satu penyebab nilai TSS masih jauh di atas baku mutu yang telah ditentukan karena air limbah pengolahan kopi terlalu pekat dan penuh dengan lendir hasil fermentasi. Kondisi tersebut membutuhkan ukuran partikel koagulan yang lebih kecil lagi dan perlu menentukan kadar dosis yang sesuai untuk air limbah pengolahan kopi. Hasil analisis ANOVA dari pengukuran TSS setiap perlakuan disajikan pada Tabel 4.

Hasil nilai uji ANOVA menunjukkan bahwa perlakuan ukuran mesh dan dosis koagulan terhadap penurunan nilai TSS tidak berbeda nyata. Kesimpulan tersebut didukung oleh nilai F hitung < F tabel yang ditunjukkan pada Tabel 4. Pemberian dosis koagulan yang tinggi akan menyebabkan nilai TSS juga semakin tinggi. Dosis koagulan tinggi juga akan menyebabkan pembentukan flok kurang optimum. Kondisi

tersebut diakibatkan oleh jumlah ion positif (H^+) lebih banyak daripada ion negatif (OH^-) yang dikandung dalam air limbah sehingga banyak koagulan yang masih mengambang dan tidak dapat berikatan serta akhirnya masih terdapat filtrat yang masih keruh (Kartika *et al.*, 2016).

4. Analisis Efisiensi Penurunan Nilai Parameter TDS

Nilai penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan kombinasi U3D1 (mesh 150 dan dosis 1500 mg/l) yang terlihat pada Tabel 5 dan Gambar 4. Pemberian koagulan menyebabkan pemampatan lapisan ganda yang kemudian terjadi pengurangan potensial permukaan koloid dan akhirnya terjadi gaya tarik menarik *Van der Waals*. Menurut Septiana *et al.* (2015), penurunan TDS disebabkan adanya protein yang bermuatan positif pada suspensi biokoagulan serbuk biji asam jawa yang mengikat muatan-muatan negatif. Dosis yang terlalu tinggi akan menyebabkan titik jenuh pada air limbah dan flok yang tereduksi sudah habis dan akhirnya akan meningkatkan nilai TDS. Hasil analisis ANOVA dari pengukuran TDS setiap perlakuan disajikan pada Tabel 6.

Hasil uji statistik menggunakan ANOVA merepresentasikan bahwa perlakuan ukuran dan dosis koagulan berbeda nyata. Kondisi tersebut didukung oleh hasil nilai F hitung > F tabel yang ditunjukkan pada Tabel 6. Oleh karena itu diperlukan uji lanjut menggunakan uji *Tukey* untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan. Tabel 7 dan 8 dapat disimpulkan pada interaksi perlakuan ukuran mesh dan dosis berbeda nyata karena hasil rata-rata > HSD.

Gambar 3 menunjukkan hasil warna air limbah pengolahan kopi yang tidak terlalu berbeda. Semakin gelap warna air limbah maka kualitas air limbah akan semakin buruk. Nilai kekeruhan yang tinggi merupakan salah satu tanda nilai TSS yang berlebih (Rizki *et al.*, 2015).

5. Analisis Efisiensi Penurunan Nilai Parameter Kekeruhan

Semakin keruh suatu air limbah maka terbentuknya flok semakin mudah. Hal tersebut terjadi karena luas penampang tumbukan antara polimer koagulan dengan koloid limbah semakin luas. Nilai penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan kombinasi U3D1 (mesh 150 dan dosis 1500 mg/l) yang terlihat pada Tabel 9 dan Gambar 5. Total padatan tersuspensi (TSS) yang terdapat

Tabel 9. Hasil pengukuran nilai kekeruhan

Perlakuan	Nilai Kekeruhan Limbah Awal (mg/l)	Nilai Kekeruhan Limbah Akhir (mg/l)	Efisiensi Penurunan (%)
U1D1	815	446,40	45,23
U1D2		412,93	49,33
U1D3		364,43	55,28
U2D1		423,37	48,05
U2D2		375,87	53,88
U2D3		343,60	57,84
U3D1		311,40	61,79
U3D2		353,13	56,67
U3D3		384,87	52,78

Tabel 10. Hasil analisis ANOVA terhadap nilai akhir kekeruhan

Ukuran Mesh	Tukey	HSD	Keterangan
80 mesh dengan 100 mesh	1,10	0,035	rata-rata berbeda nyata
80 mesh dengan 150 mesh	2,37	0,035	rata-rata berbeda nyata
100 mesh dengan 150 mesh	1,27	0,035	rata-rata berbeda nyata

Tabel 11. Hasil analisis Tukey ukuran mesh terhadap nilai akhir kekeruhan

Ukuran Mesh	Tukey	HSD	Keterangan
80 mesh dengan 100 mesh	1,10	0,035	rata-rata berbeda nyata
80 mesh dengan 150 mesh	2,37	0,035	rata-rata berbeda nyata
100 mesh dengan 150 mesh	1,27	0,035	rata-rata berbeda nyata

Tabel 12. Hasil analisis ANOVA terhadap nilai akhir kekeruhan

Dosis	Tuckey	HSD	Keterangan
1500 mg dg 2500 mg (a)	0,133254396	0,035017	rata rata berbeda nyata
1500 mg dg 3500 mg (b)	0,097296861	0,035017	rata rata berbeda nyata
2500 mg dg 3500mg (c)	0,035957535	0,035017	rata rata berbeda nyata

Tabel 13. Hasil pengukuran nilai COD

Perlakuan	Nilai COD Limbah Awal (mg/l)	Nilai COD Limbah Akhir (mg/l)	Efisiensi Penurunan (%)
U1D1	3344,44	3416,67	-2,16
U1D2		2366,78	29,23
U1D3		2300,00	31,23
U2D1		2400,00	28,24
U2D2		2350,00	29,73
U2D3		1963,44	41,29
U3D1		1374,85	61,63
U3D2		1450,00	56,64
U3D3		2583,22	22,76

Tabel 14. Hasil analisis ANOVA terhadap nilai akhir COD

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel
Dosis	554,34	2	277,17	33,16	3,55
Ukuran	3406,47	2	1703,23	203,78	3,55
Interaksi	4518,82	4	1129,71	135,16	2,93
Galat/Error	150,45	18	8,36		
Total	8630,08	26			

Tabel 15. Hasil analisis *Tukey* ukuran mesh terhadap penurunan nilai COD

Ukuran Mesh	<i>Tukey</i>	HSD	Keterangan
80 mesh dengan 100 mesh	13,66	1,16	rata-rata berbeda nyata
80 mesh dengan 150 mesh	27,51	1,16	rata-rata berbeda nyata
100 mesh dengan 150 mesh	13,86	1,16	rata-rata berbeda nyata

Tabel 16. Hasil analisis ANOVA terhadap nilai akhir COD

Dosis	<i>Tuckey</i>	HSD	Keterangan
1500 mg dg 2500 mg (a)	5,09	0,035017	rata-rata berbeda nyata
1500 mg dg 3500 mg (b)	5,99	0,035017	rata-rata berbeda nyata
2500 mg dg 3500 mg (c)	11,09	0,035017	rata-rata berbeda nyata

Gambar 1. Penentuan pH optimum

Gambar 2. Diagram perbandingan nilai awal dan akhir TSS

Gambar 3. Warna air limbah pengolahan kopi setelah koagulasi-flokulasi

Gambar 4. Diagram penurunan nilai TDS

Gambar 5. Diagram perbandingan nilai awal dan akhir kekeruhan

Gambar 6. Diagram perbandingan nilai awal dan akhir COD

dalam air limbah pengolahan kopi akan menghalangi penetrasi cahaya yang akan masuk ke dalam air sehingga nilai kekeruhan berbanding lurus dengan nilai TSS, namun nilai TSS tidak berbeda nyata dikarenakan perbedaan ukuran antara mesh 80, 100, dan 150 tidak berbeda jauh. Kondisi tersebut menyebabkan nilai uji ANOVA TSS tidak berbeda nyata dan berkebalikan dengan hasil kekeruhan yang berbeda nyata.

Pemberian dosis yang berlebih akan menyebabkan seluruh permukaan koloid akan tertutup oleh polimer sehingga rantai akhir tidak memiliki cabang untuk menempel ke polimer lain dan flokulasi tidak terjadi. Fenomena tersebut menyebabkan air limbah mencapai kondisi stabil kembali karena memiliki ikatan yang sama dan tidak dapat bergabung (Kartika *et al.*, 2016). Biji asam jawa mengandung polielektrolit kuat yang memiliki peran penting pada saat netralisasi muatan dan pada saat proses pembentukan jembatan polimer (Saptati dan Himma, 2018). Hasil analisis ANOVA dari pengukuran kekeruhan setiap perlakuan disajikan pada Tabel 10.

Hasil nilai uji statistik menggunakan ANOVA pada perlakuan ukuran mesh dan dosis berbeda nyata terhadap nilai penurunan parameter kekeruhan air limbah pengolahan kopi. Kondisi tersebut didukung oleh nilai F hitung $> F$ tabel yang ditunjukkan pada Tabel 10. Oleh karena itu, diperlukan uji lanjut menggunakan uji *Tukey* untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan. Tabel 11 dan 12 dapat disimpulkan pada interaksi perlakuan ukuran mesh dan dosis berbeda nyata karena hasil rata-rata $> HSD$.

6. Analisis Efisiensi Penurunan Nilai Parameter COD

Biji asam jawa mengandung protein terlarut yaitu gugus $-NH_3^+$ yang mampu mengikat partikel koloid yang bersifat negatif sehingga terdestabilisasi dan membentuk flok yang lebih besar dan terendapkan. Hal itulah yang menyebabkan pengikatan dari kandungan biji asam yang bermuatan positif mengikat air limbah yang bermuatan negatif yang mampu menurunkan kadar COD air limbah (Istiqomah *et al.*, 2018). Nilai COD berbanding lurus dengan nilai kekeruhan, semakin rendah nilai COD nilai kekeruhan juga akan semakin rendah. Penurunan tertinggi terjadi pada perlakuan kombinasi U3D1 (ukuran mesh 150 dan dosis 1500 mg/l) yang terlihat pada Tabel 13 dan Gambar 6.

Pemberian dosis berlebih akan menyebabkan air limbah mengalami kejenuhan karena flok yang tereduksi sudah habis dan koagulan justru akan menaikkan kadar COD air limbah. Hasil analisis ANOVA dari pengukuran COD setiap perlakuan disajikan pada Tabel 14.

Hasil nilai uji ANOVA berdasarkan variasi ukuran mesh dan dosis koagulan disimpulkan berbeda nyata terhadap nilai penurunan COD. Hasil tersebut diperkuat dengan nilai F hitung $> F$ tabel yang ditunjukkan pada Tabel 14. Oleh karena itu diperlukan uji lanjut menggunakan uji *Tukey* untuk mengetahui perbedaan masing-masing perlakuan. Tabel 15 dan 16 dapat disimpulkan pada perlakuan ukuran mesh dan dosis berbeda nyata karena hasil rata-rata $> HSD$.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan bahwa koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan biji asam jawa mampu menurunkan konsentrasi bahan pencemar pada air limbah pengolahan kopi yang diindikasikan oleh penurunan nilai parameter TSS, TDS, kekeruhan, dan COD. Serbuk biji asam jawa dengan perlakuan ukuran mesh 150 (0,098 mm) dan dosis 1500 mg/l merupakan alternatif tertinggi dalam menurunkan konsentrasi bahan pencemar pada air limbah pengolahan kopi. Kombinasi tersebut menghasilkan nilai efisiensi penurunan parameter TSS, TDS, kekeruhan, dan COD secara berurutan yaitu 79,24%; 82,74%; 61,79%; dan 61,63%. Serbuk biji asam jawa direkomendasikan sebagai koagulan alami dan berpotensi memperbaiki kualitas air limbah pengolahan kopi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pelaksanaan penelitian ini dapat berjalan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu ucapan terima kasih disampaikan kepada Ketua Kelompok Tani di Agroindustri Kopi Wulan, Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, dan pihak Universitas Jember. Ucapan terima kasih juga diberikan kepada penelaah atau reviewer yang telah memberikan tanggapan dan masukan agar representasi hasil penelitian pada artikel lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Andre, Wardhana, I, -W., Sutrisno, -E., 2015. Penggunaan tepung biji asam jawa (*Tamarindus indica*) sebagai biokoagulan untuk menurunkan kadar fosfat dan COD pada air limbah usaha laundry. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 4(4), 1-5. <https://media.neliti.com/media/publications/191464-ID-none.pdf>
- Ang, T, -H, Kiatkittipong, -K., Kiatkittipong, -W., Cua, S, -C, Lim, J, -W., Bashir, M, J, -K., Ho, Y, -C., 2020. Insight on extraction and characterisation of biopolymer as the green coagulants for microalgae harvesting. *Water*. 12(1388), 1-31. <https://doi.org/10.3390/w12051388>
- Badan Pusat Statistik. 2018. Produksi perkebunan kopi menurut kabupaten/kota di Jawa Timur tahun 2006-2017. Dilihat 6 Desember 2020. <<https://jatim.bps.go.id/statictable/2018/11/12/1390/produksi-perkebunan-kopi-menurut-kabupaten-kota-di-jawa-timur-ton-2006-2017.html>>
- Bangun, A, -R., Aminah, -S., Hutahaean, R, -A., Ritonga, M, -Y., 2013. Pengaruh kadar air, dosis dan lama pengendapan koagulan serbuk biji kelor sebagai alternatif pengolahan limbah cair industri tahu. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2(1), 7-13. <https://doi.org/10.32734/jtk.v2i1.1420>
- Hendrawati, Syamsumarsih, -D., Nurhasni. 2013. Penggunaan biji asam jawa (*Tamarindus indica* L.) dan biji kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus* L.) sebagai koagulan alami dalam perbaikan kualitas air tanah. *Jurnal Kimia Valensi*. 3(1), 22-33. <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i1.326>
- Istiqomah, Hanizani, -S., Syarifudin, -A., 2018. Pengaruh penambahan serbuk biji asam jawa (*Tamarindus indicalin*) sebagai koagulan untuk menurunkan kadar COD (Chemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid) pada limbah cair industri kecap. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. 15(1), 579-584. <https://ejournal.kesling-poltekkesbjm.com/index.php/JKL/article/view/44/62>
- Kartika, -D., Nurjazuli., Budiyo. 2016. Kemampuan serbuk biji asam jawa dalam menurunkan TSS, turbiditas, dan amoniak pengolahan limbah cair PT. Utama Multiniaga Indonesia. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 4(4), 917-924. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkm/article/view/14387>
- Mahardiko, YJ. 2019. Penggunaan biji asam jawa (*Tamarindus indica* L.) sebagai koagulan alami dalam proses penanganan limbah cair industri tahu. Skripsi. Universitas Jember. Jember
- 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 sintetis pada berbagai variasi operasi. *Jurnal Rekayasa Proses*. 12(2), 98-103. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.38948>
- Novita, -E., Indarto, Hasanah, T, -L., 2014. Optimasi penggunaan koagulan alami biji kelor (*Moringa oleifera*) pada pengolahan limbah cair mocaf. *Jurnal Agroteknologi*. 8(2), 171-178. <https://jurnal.unej.ac.id/index.php/JAGT/article/view/3050>
- Novita, -E., Wahyuningsih, -S., Pradana, H, -A., Marsut, W, -D., Faris, A, -F., 2019. Moringa seeds (*Moringa olifera* L.) application as natural coagulant in coffee wastewater treatment moringa seeds (*Moringa olifera* L.) application as natural coagulant in coffee wastewater treatment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 347, 1-12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/347/1/012019>
- Rahimah, -Z., Heldawati, -H., Syauqiah, -I., 2016. Pengolahan limbah deterjen dengan metode koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan kapur dan PACl. *Konversi*. 5(2), 13-19. <http://dx.doi.org/10.20527/k.v5i2.4767>
- Rizki, -N., Sutrisno, -E., Sumiyati, -S., 2015. Penurunan konsentrasi COD dan TSS pada limbah cair tahu dengan teknologi kolam (Pond)-Biofilm menggunakan media biofilter jaring ikan dan bioball. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 1-9. <https://www.neliti.com/publications/190421/penurunan-konsentrasi-cod-dan-tss-pada-limbah-cair-tahu-dengan-teknologi-kolam-p>
- Saptati, AS., Himma, NF. 2018. Perlakuan Fisiko-Kimia Limbah Cair Industri. UB Press. Malang

Septiana, -H., Syauqi, -A., Laili, -S., 2015.
Lama waktu pengadukan suspensi biji
asam jawa (*Tamarindus indica*) terha-
dap parameter lingkungan air sumur.

Biosaintropis, Bioscience-Tropic. 1(1),
9-18. [http://biosaintropis.unisma.
ac.id/index.php/biosaintropis/article/
view/18](http://biosaintropis.unisma.ac.id/index.php/biosaintropis/article/view/18)