



Penggunaan biji asam jawa (*Tamarindus indica* L.) sebagai koagulan alami pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional

*The utilization of tamarind seeds (*Tamarindus indica* L.) as the natural coagulant for wastewater treatment of traditional gold mine*

Rofi'ul Hidayah^{1,*}, Hefni Effendi², Sigid Hariyadi³

¹Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

Received 20 June 2022 Received in revised 23 Juli 2022 Accepted 20 Agustus 2022

ABSTRAK

Biji asam jawa (*Tamarindus indica* L.) merupakan biji yang memiliki kandungan protein, tannin, dan antioksidan yang bisa digunakan sebagai koagulan alami pada pengolahan limbah cair, termasuk limbah cair tambang emas tradisional. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah koagulasi dengan kecepatan 200 rpm selama satu menit dan 20 rpm selama 30 menit. Penelitian bertujuan untuk menentukan dosis serbuk biji asam dalam pengolahan limbah cair tambang emas tradisional. Penelitian menggunakan perlakuan dosis serbuk biji asam (0,3 g/L; 0,4 g/L; dan 0,5 g/L) dengan tiga kali ulangan. Hasil yang didapat dari penelitian adalah perubahan nilai parameter kualitas air dari kondisi awal air limbah. Penurunan antara kontrol lapang (KL) dengan penambahan dosis ditunjukkan oleh dosis 0,4 g/L pada nilai TSS sebesar 96,95%, dosis 0,3 g/L pada nilai COD sebesar 76,74%, dan dosis 0,3 g/L pada nilai merkuri sebesar 93,03%. Selanjutnya, peningkatan ditunjukkan oleh nilai pH pada dosis 0,3 g/L sebesar 44,97%. Perlakuan dosis serbuk biji asam jawa terbaik yang dapat digunakan dalam mengolah limbah cair tambang emas tradisional adalah 0,3 g/L.

Kata kunci: biji asam jawa, dosis koagulan, koagulasi, limbah cair tambang emas tradisional

ABSTRACT

*Tamarind seeds (*Tamarindus indica* L.) are seeds that contain proteins, tannins, and antioxidants that can be used as a natural coagulant in wastewater treatment, including wastewater of traditional gold mine. The method used in the study was coagulation with a speed of 200 rpm for one minute and 20 rpm for 30 minutes. The purpose of the study is to determine of tamarind seeds powder dose for wastewater treatment of traditional gold mine. The present study used different dosages of tamarind seeds powder (0.3 g/L; 0.4 g/L; and 0.5 g/L) with three replications. The results of the study are changes in water quality parameter values of the initial conditions of wastewater. The decrease between the control field (KL) with increasing doses indicated by parameter in 0.4 g/L was TSS (96.95%), 0.3 g/L was COD (76.74%), and 0.3 g/L was mercury (93.03%). pH tend to increase in the experiments, for 0.3 g/L treatment the COD increase up to 44.79%. The best treatment dose of coagulant seeds powder acids that can be used in wastewater of traditional gold mine is a dose of 0.3 g/L.*

Keywords: tamarind seeds, coagulant dose, coagulation, wastewater of traditional gold mine

1. Pendahuluan

Limbah tambang emas tradisional merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan sumberdaya alam bijih emas. Setiap tahapan dalam proses pengolahan emas secara ekologi membawa dampak yang dapat mengganggu keseimbangan lingkungan (Sumual 2009). Sugianti *et al.* (2014) menyatakan bahwa para penambang emas secara tradisional menggunakan merkuri untuk menangkap dan memisahkan butir-butir emas dari batuan.

Kandungan merkuri dalam limbah hasil pengolahan tambang emas akan memberikan dampak buruk pada lingkungan. Sebagian besar kandungan merkuri yang terlepas dari proses pertambangan melekat pada sedimen dan sebagian berubah menjadi metil merkuri yang bersifat sangat membahayakan fungsi pernafasan dan sistem metabolisme (Lestaris 2010). Hal ini menyebabkan diperlukannya langkah-langkah bijaksana dalam penanganan limbah pengolahan emas agar risiko terhadap kerusakan lingkungan dapat diminimalisasi (Sumual 2009).

Pengolahan limbah dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu secara kimia, fisika, dan biologi. Metode kimia bisa dilakukan dengan proses koagulasi atau proses destabilisasi koloid dalam limbah cair dengan menambahkan bahan kimia (koagulan) (Nurika *et al.* 2007). Koagulan yang sering digunakan adalah koagulan kimia, antara lain aluminium sulfat (tawas), polialuminium klorida, feri klorida, feri sulfat, dan polimer kation (Nurika *et al.* 2007). Menurut Jeyakumar (2014), air limbah hasil olahan dengan koagulan kimia seperti alum menyebabkan penyakit alzheimer karena pengendapan dari sisa alum yang tinggi dalam pengolahan limbah.

Koagulan alami diantaranya biji asam jawa (Rahman *et al.* 2015) dan biji kelor (Amagloh dan Benang 2009). Biji asam jawa (*Tamarindus indica* L.) memiliki kandungan protein yang cukup tinggi. Protein yang terkandung dalam biji asam jawa diharapkan dapat berperan sebagai polielektrolit alami, seperti koagulan sintetik (Hendrawati *et al.* 2013). Koagulan kimia lebih efektif daripada

koagulan alami, namun lebih mahal. Oleh karena itu diharapkan koagulan alami biji asam jawa menjadi solusi, karena relatif lebih murah dan lebih ramah lingkungan.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama bulan Maret hingga Mei 2016 di Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan (Proling) dan Biologi Mikro, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Pengambilan air limbah dilakukan di tempat pengolahan tambang emas tradisional daerah Rancabakti, Nanggung, Bogor.

2.2. Metode Penelitian

Penelitian perbaikan kualitas air limbah tambang emas tradisional menggunakan metode koagulasi dibagi menjadi dua tahap, yaitu penelitian pendahuluan yang bertujuan untuk menentukan dosis serbuk biji asam jawa yang dapat diterapkan pada penelitian utama berdasarkan terbentuknya flok, dan penelitian utama yang bertujuan untuk menentukan dosis yang efektif dalam memperbaiki kualitas air limbah menggunakan metode koagulasi.

2.2.1. Penelitian Pendahuluan

Tahap penelitian pendahuluan meliputi penambahan beberapa dosis serbuk biji asam jawa, yaitu 0,2 g/L; 0,4 g/L; 1 g/L; 2 g/L; 4 g/L; 6 g/L; 8 g/L; 10 g/L; 12 g/L; 14 g/L; 16 g/L; 18 g/L; 20 g/L; 22 g/L; 30 g/L. Berdasarkan percobaan tersebut, dosis minimal terbentuknya flok adalah 0,4 g/L sehingga dalam penelitian utama digunakan dosis 0,3 g/L; 0,4 g/L; dan 0,5 g/L. Digunakan dosis tersebut karena diharapkan pada dosis 0,3 g/L masih terbentuk flok. Jika jarak antara dosis 0,3 g/L dan 0,4 g/L adalah 0,1 g/L maka dosis selanjutnya adalah 0,5 g/L.

Penelitian pendahuluan dilakukan menggunakan alat jar test dengan kecepatan 200 rpm selama satu menit dan 20 rpm selama 30 menit. Pengukuran rpm dilakukan dengan menggunakan alat tachometer. Penelitian pendahuluan dilakukan menggunakan gelas

piala 1000 mL sebagai wadah limbah cair yang akan diolah dengan metode koagulasi

2.2.2. Penelitian Utama

Kegiatan yang dilakukan pada tahap penelitian utama yaitu penentuan dosis serbuk biji asam jawa dalam memperbaiki kualitas air berdasarkan hasil dari penelitian pendahuluan. Penelitian utama terdiri atas pengukuran kontrol lapang (KL), pengukuran kontrol pengendapan (KP), dan pengukuran setelah penambahan koagulan serbuk biji asam jawa. Penelitian utama menggunakan alat magnetic stirrer dengan kecepatan 20 rpm selama satu menit dan 200 rpm selama 30 menit. Alat yang digunakan pada penelitian utama berbeda dengan alat yang digunakan pada penelitian pendahuluan, karena alat pada penelitian pendahuluan mengalami kerusakan.

Penelitian utama dilakukan menggunakan gelas piala 500 mL untuk menampung 250 mL limbah cair tambang emas tradisional. Air limbah yang sudah diolah menggunakan koagulasi selanjutnya diambil bagian supernatan sebanyak 200 mL untuk dianalisis. Rancangan yang digunakan dalam penelitian adalah rancangan acak lengkap dengan dosis serbuk biji asam jawa sebagai perlakuan yang diulang sebanyak tiga kali.

Hasil dari penelitian utama dianalisis menggunakan rancangan acak lengkap. Rancangan acak lengkap digunakan untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan dosis koagulan serbuk biji asam jawa terhadap pengolahan limbah cair tambang emas tradisional. Menurut Montgomery (2000) analisis menggunakan rancangan acak lengkap ditunjukkan dalam rumus matematis sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} ; i = 1, 2, \dots, \alpha; j = 1, 2, \dots, b$$

Keterangan :

- Y_{ij} : pengamatan pada satuan percobaan ke-j yang mendapat perlakuan ke-i
 μ : rata-rata keseluruhan
 τ_i : pengaruh perlakuan ke-i (dosis koagulan serbuk biji asam jawa)
 ε_{ij} : komponen galat

Analisis kondisi awal air limbah terbagi

menjadi dua, yaitu Kontrol Lapang (KL) dan Kontrol Pengendapan (KP). Kontrol lapang didapat dari tiga contoh air limbah yang diukur begitu selesai pengolahan emas secara tradisional dan kontrol pengendapan didapat dari tiga contoh air limbah yang diukur setelah didiamkan selama 17 jam, kemudian diaduk dan diendapkan selama satu jam. Air limbah didiamkan selama 17 jam karena proses pengolahan emas selesai pada petang hari dan keesokan harinya baru mulai diberikan perlakuan. Air limbah kontrol lapang (KL) berbeda dengan kontrol pengendapan (KP), tetapi diasumsikan sama.

Pengukuran kualitas air kontrol lapang (KL) dan kontrol pengendapan (KP) dilakukan sebelum air limbah tambang emas tradisional diolah dengan penambahan serbuk biji asam jawa. Analisis kondisi akhir limbah didapatkan dari 15 contoh (satu kondisi awal dan empat perlakuan dengan tiga kali ulangan). Analisis kualitas air menurut APHA (2012). Rincian perlakuan yang diberikan pada penelitian disajikan pada Tabel 1 dengan analisis kualitas air yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Rincian perlakuan pengolahan limbah cair tambang emas tradisional menggunakan metode koagulasi.

Perlakuan	Dosis koagulan (g/L)	Keterangan
Kontrol Lapang	0	3 ulangan
Kontrol Pengendapan	0	3 ulangan
1	0,3	3 ulangan
2	0,4	3 ulangan
3	0,5	3 ulangan

Tabel 2. Parameter kualitas air, metode, dan alat ukur yang digunakan dalam penelitian.

Parameter	Unit	Metode	Alat
pH	-	Elektrometrik	pH Meter
TSS	mg/L	Gravimetri	Timbangan analitik
COD	mg/L	Refluks tertutup	Spektrofotometer
Merkuri	mg/L	<i>Cold vapor</i>	AAS

2.3. Analisis Data

Analisis data yang digunakan terdiri dari analisis sidik ragam rancangan acak lengkap dan persen perubahan kualitas air (TSS, COD, dan Merkuri).

2.3.1. Sidik Ragam Rancangan Acak Lengkap

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah rancangan acak lengkap atau yang biasa disingkat menjadi RAL. Sidik ragam dari rancangan acak lengkap disajikan pada Tabel 3 (Montgomery 2000).

Tabel 3. Sidik ragam RAL.

Jenis Keragaman	Derajat Bebas (db)	Jumlah Kuadrat (JK)	Kuadrat Tengah (KT)	Fhitung	Ftabel
Perlakuan	$\alpha - 1$	JKP	$JKP\alpha - 1$	KTPKTG	$F_{\alpha-1; \alpha(b-1),(\alpha)}$
Galat	$\alpha(b - 1)$	JKG	$JKG\alpha (b - 1)$		
Total	$ab - 1$	JKT			

Hipotesis

H_0 : $\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_\alpha = 0$. (tidak ada pengaruh perlakuan dosis koagulan terhadap pengolahan limbah cair tambang emas tradisional)

H_1 : paling sedikit ada satu i dengan $\tau_i \neq 0$. (ada pengaruh perlakuan dosis koagulan terhadap pengolahan limbah cair tambang emas tradisional)

2.3.2. Persen Perubahan Kualitas Air (TSS, COD, Dan Merkuri)

Kualitas air dianalisis sebelum dan sesudah proses koagulasi dilaksanakan. Analisis kualitas air dilakukan untuk melihat efektivitas dari penggunaan biji asam jawa dalam metode koagulasi untuk meningkatkan kualitas air limbah pengolahan tambang emas tradisional oleh Arifin (2000), yaitu:

$$E\% = \frac{(A-B)}{A} \times 100$$

Keterangan:

A = nilai kualitas air sebelum pengolahan

B = nilai kualitas air setelah pengolahan

E = efektivitas pengolahan

Tingkat efektivitas pengolahan air limbah ditentukan dari nilai sebaran setiap parameter yang diamati menurut Arifin (2000), yaitu 0-20% (buruk sekali); 21-40% (buruk); 41-60% (sedang); 61-80% (baik); dan 81-100% (baik sekali).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

3.1.1. Karakteristik Biji Asam Jawa

Asam jawa (*Tamarindus indica* L.) merupakan tumbuhan yang memiliki banyak manfaat mulai dari daging sampai biji. Biji asam jawa (*Tamarindus indica* L.) selama ini hanya diketahui sebagai limbah yang jarang dimanfaatkan, perlu dikembangkan lebih lanjut untuk pengolahan limbah cair yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan (Ramadhani dan Moesriati 2013). Biji asam jawa tidak hanya ekonomis tetapi juga membantu memecahkan masalah pembuangan limbah, karena biji asam jawa dibuang sebagai limbah (Ahalya *et al.* 2008). Serbuk biji asam jawa didapatkan dari buah asam jawa yang sudah matang dan diambil pada bagian biji asam jawa.

Biji asam jawa memiliki kandungan protein yang cukup tinggi. Protein yang terkandung dalam biji asam jawa diharapkan dapat berperan sebagai polielektrolit alami, seperti koagulan sintetik (Hendrawati *et al.* 2013). Biji asam jawa mengandung senyawa tannin, minyak esensial, serta polimer alami, seperti pati, getah, perekat, alginat, dan lain-lain (Hendrianti dan Suhasri 2011). Biji asam jawa memiliki kandungan yang penting tidak hanya komponen nutrisi, tetapi juga antioksidan yang bisa digunakan sebagai pengolah limbah (Shlini dan Murthy 2016).

Koagulan serbuk biji asam jawa sudah dilakukan pada berbagai limbah, seperti tahu (Nurika *et al.* 2007), penyamakan kulit (Hendrianti dan Suhasri 2011), dan tempe (Ramadhani dan Moesriati 2013). Biji asam jawa juga memiliki potensi pada masa mendatang karena ramah lingkungan, murah, dan *biodegradable* (Madhavi dan Rajkumar 2013). Berikut merupakan klasifikasi asam jawa menurut Soemardji (2007).

Kingdom : Plantae
 Divisi : Spermatophyta
 Kelas : Magnoliopsida
 Ordo : Fabales
 Famili : Fabaceae
 Genus : *Tamarindus* L.
 Spesies : *Tamarindus indica* L. (abad 18)

3.1.2. Pengolahan Dan Karakteristik Tambang Emas Tradisional

Pengolahan tambang emas tradisional merupakan kegiatan pemanfaatan sumberdaya alam bijih emas skala rumah tangga yang dilakukan secara sederhana di rumah warga. Aktivitas pengolahan tambang emas tradisional tersebut menghasilkan limbah berupa cairan yang mengandung logam merkuri. Perlu dilakukan pengolahan limbah tambang emas tradisional untuk memperbaiki kualitas air. Pengolahan limbah cair tambang emas tradisional yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya adalah fitoremediasi (Mahmud *et al.* 2012) dan zeolit (Agus *et al.* 2005).

Pengolahan tambang emas tradisional di Bogor menggunakan mesin gelundung berbentuk tabung yang digerakkan oleh dinamo listrik. Tahap pertama pengolahan tambang emas tradisional adalah bongkahan batu yang mengandung emas dihancurkan terlebih dahulu kemudian dimasukkan ke dalam mesin gelundung tersebut. Setelah itu ditambahkan larutan air raksa untuk membantu proses penyaringan bijih emas yang ada pada batuan. Kemudian semua dimasukkan ke dalam mesin gelundung tersebut, mesin gelundung diputar menggunakan dinamo listrik selama kurang lebih empat sampai lima jam. Selanjutnya mesin gelundung dibuka dan air yang ada dibuang, sementara bijih emas akan berikatan dengan air raksa, sehingga memisah dengan air. Tabel 4 merupakan karakteristik awal limbah cair pengolahan tambang emas tradisional sebelum diolah dengan biji asam jawa yang dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (PerMen LH) Nomor 5 Tahun 2014 tentang baku mutu air limbah.

Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa limbah cair tambang emas tradisional

mempunyai parameter pH, TSS, dan COD belum sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan, namun parameter merkuri sudah sesuai dengan baku mutu. Limbah cair pengolahan tambang emas tradisional bersifat asam, kandungan bahan organik *non-biodegradable* yang tinggi, padatan tersuspensi tinggi, dan kandungan bahan berbahaya merkuri juga tinggi.

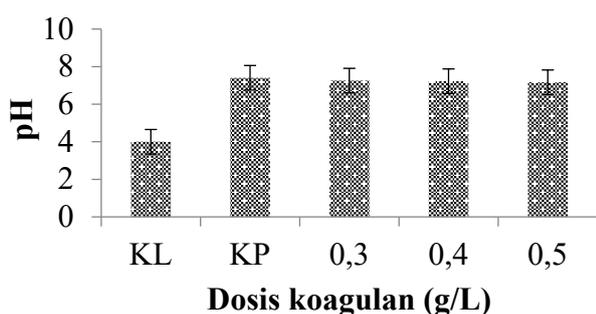
Tabel 4. Karakteristik awal limbah cair pengolahan tambang emas tradisional (KL).

No	Parameter	Nilai	Baku mutu (PerMen LH Nomor 5 Tahun 2014)
1	pH	4,00	6-9
2	TSS	1531,11	200
3	COD	544,51	100
4	Hg	0,0016	0,002

3.1.3. pH

pH merupakan salah satu parameter kimia penting yang menyatakan keadaan perairan dalam kondisi asam, netral, atau basa. Pada Gambar 2 dapat diketahui adanya perubahan nilai pH limbah cair tambang emas tradisional setelah diendapkan (KP) dan ditambahkan serbuk biji asam jawa. Nilai pH setelah diendapkan dan ditambahkan serbuk biji asam jawa sudah sesuai dengan baku mutu, karena berada pada rentan baku mutu yang sudah ditetapkan sebesar 6-9.

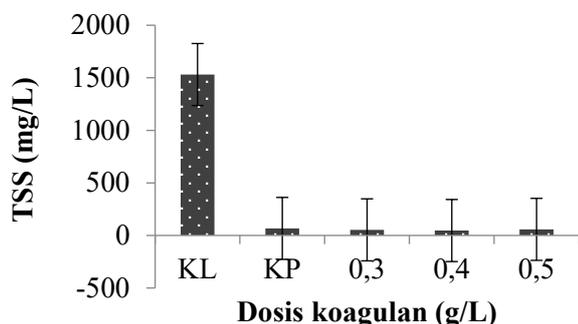
Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan sangat nyata ($p < 0,01$), sangat nyata ($p < 0,05$), dan nyata ($p < 0,1$) pada perlakuan dosis serbuk biji asam jawa dengan taraf (0,3 g/L; 0,4 g/L; dan 0,5 g/L) dalam menurunkan nilai pH pada air limbah antara kontrol lapang (KL) dan kontrol pengendapan (KP). Adanya perbedaan sangat nyata, sangat nyata, dan nyata pada perlakuan yang diberikan menyebabkan perlu dilakukan uji lanjut Tukey. Hasil yang didapat dari analisis uji lanjut Tukey merupakan adanya perbedaan pengaruh yang nyata pada taraf dosis 0,5 g/L dengan air limbah. Grafik perubahan nilai pH disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perubahan nilai pH pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa. KL (Kontrol Lapang) dan KP (Kontrol Pengendapan).

3.1.4. Total suspended solid (TSS)

TSS (*Total suspended solid*) atau padatan tersuspensi total adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter > 1 μm) yang tertahan pada saringan *millipore* dengan diameter pori 0,45 μm (Effendi 2003). Pada Gambar 3 dapat diketahui adanya perubahan nilai TSS air limbah tambang emas tradisional setelah diendapkan dan ditambahkan serbuk biji asam jawa. Nilai TSS setelah ditambahkan serbuk biji asam jawa sudah sesuai dengan baku mutu, karena berada di bawah nilai baku mutu yang sudah ditetapkan sebesar 200 mg/L. Grafik perubahan nilai TSS disajikan pada Gambar 2.

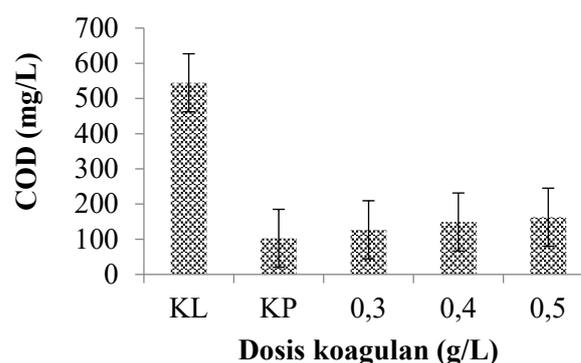


Gambar 2. Perubahan nilai TSS pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa. KL (Kontrol Lapang) dan KP (Kontrol Pengendapan).

Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan sangat nyata ($p < 0,01$), sangat nyata ($p < 0,05$), dan nyata ($p < 0,1$) pada perlakuan dosis serbuk biji asam jawa dengan taraf (0,3 g/L; 0,4 g/L; dan 0,5 g/L) dalam menurunkan nilai TSS pada air limbah antara kontrol lapang (KL) dan kontrol pengendapan (KP). Adanya perbedaan sangat nyata, sangat nyata, dan nyata pada perlakuan yang diberikan menyebabkan perlu dilakukan uji lanjut Tukey. Hasil yang didapat dari analisis uji lanjut Tukey merupakan adanya perbedaan pengaruh yang nyata pada taraf dosis 0,4 g/L dengan air limbah.

3.1.5. Chemical Oxygen Demand (COD)

COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar limbah organik yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Nurhasanah 2009). Nilai COD mengalami penurunan setelah diendapkan dan mengalami peningkatan setelah ditambahkan serbuk biji asam jawa. Nilai COD setelah diendapkan dan ditambahkan serbuk biji asam jawa belum sesuai dengan baku mutu, karena berada di atas nilai baku mutu yang sudah ditetapkan sebesar 100 mg/L. Grafik perubahan nilai COD disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perubahan nilai COD pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa. KL (Kontrol Lapang) dan KP (Kontrol Pengendapan).

Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan sangat sangat nyata ($p < 0,01$), sangat nyata ($p < 0,05$), dan nyata ($p < 0,1$) pada perlakuan dosis serbuk biji asam jawa dengan taraf (0,3 g/L; 0,4 g/L; dan 0,5 g/L) dalam meningkatkan nilai COD pada air limbah antara kontrol lapang (KL) dan kontrol pengendapan (KP). Adanya perbedaan sangat sangat nyata, sangat nyata, dan nyata pada perlakuan yang diberikan menyebabkan perlu dilakukan uji lanjut Tukey. Hasil yang didapat dari analisis uji lanjut Tukey adalah adanya perbedaan pengaruh yang nyata pada taraf dosis 0,5 g/L dengan air limbah.

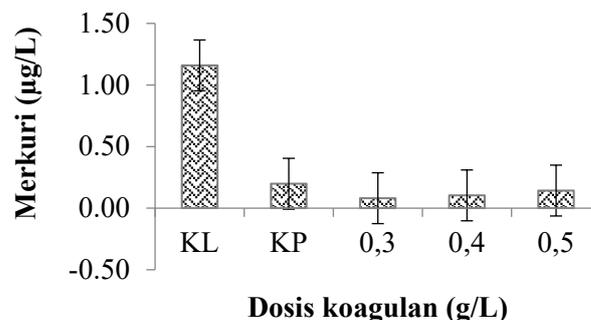
3.1.6. Merkuri (Hg)

Merkuri merupakan bahan kimia yang berbahaya bagi lingkungan, organisme, dan makhluk hidup. Aktivitas pengolahan tambang emas tradisional membutuhkan tambahan merkuri untuk proses pengikatan emas. Gambar 5 dapat diketahui adanya perubahan nilai merkuri air limbah tambang emas tradisional setelah diendapkan dan ditambahkan serbuk biji asam jawa. Nilai merkuri setelah diendapkan dan ditambahkan serbuk biji asam jawa sudah sesuai dengan baku mutu, karena berada di bawah nilai baku mutu yang sudah ditetapkan sebesar 0,002 mg/L atau 2 $\mu\text{g/L}$.

Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan nyata ($p < 0,1$) pada perlakuan dosis serbuk biji asam jawa dengan taraf (0,3 g/L; 0,4 g/L; dan 0,5 g/L) dalam menurunkan nilai merkuri pada air limbah pada kontrol pengendapan (KP), tetapi tidak berbeda nyata ($p < 0,01$ dan $p < 0,05$). Adanya perbedaan nyata ($p < 0,1$) pada perlakuan yang diberikan menyebabkan perlu dilakukan uji lanjut Tukey. Hasil yang didapat dari analisis uji lanjut Tukey adalah adanya perbedaan pengaruh yang nyata ($p < 0,1$) pada taraf dosis 0,3 g/L dengan air limbah. Grafik perubahan nilai merkuri disajikan pada Gambar 4.

Hasil uji statistik menunjukkan adanya perbedaan sangat sangat nyata ($p < 0,01$), sangat nyata ($p < 0,05$), dan nyata ($p < 0,1$) pada perlakuan dosis serbuk biji asam jawa dengan taraf (0,3 g/L; 0,4 g/L; dan 0,5 g/L) dalam meningkatkan nilai COD pada air limbah

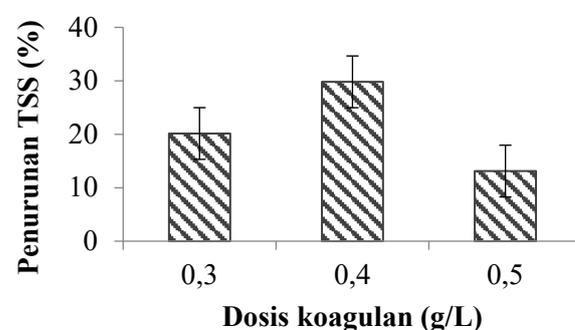
antara kontrol lapang (KL). Adanya perbedaan sangat sangat nyata, sangat nyata, dan nyata pada perlakuan yang diberikan menyebabkan perlu dilakukan uji lanjut Tukey. Hasil yang didapat dari analisis uji lanjut Tukey adalah adanya perbedaan pengaruh yang nyata pada taraf dosis 0,3 g/L.



Gambar 4. Perubahan nilai merkuri pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa. KL (Kontrol Lapang) dan KP (Kontrol Pengendapan).

3.1.7. Penurunan TSS dari Kondisi Kontrol Pengendapan (KP) dengan Perlakuan Serbuk Biji Asam Jawa

Penurunan TSS merupakan nilai yang menunjukkan perubahan dari awal limbah cair tambang emas tradisional yang sudah diendapkan dengan perlakuan, yaitu penambahan dosis koagulan serbuk biji asam jawa. Grafik penurunan nilai TSS disajikan pada Gambar 5.

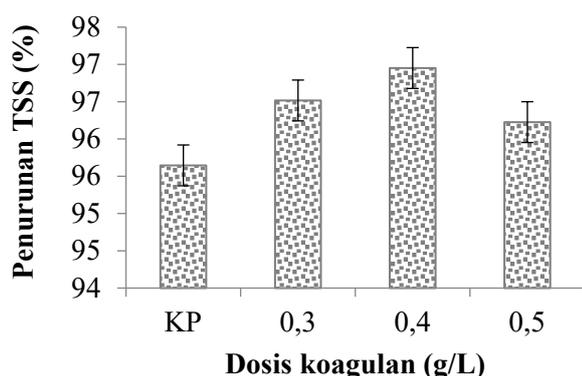


Gambar 5. Penurunan nilai TSS pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional pengendapan dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa.

Gambar 5 dapat diketahui bahwa penurunan TSS terkecil terdapat pada dosis koagulan 0,5 g/L sebesar 13,12 % yang termasuk buruk sekali karena dalam rentang 0-20 %, sedangkan penurunan TSS terbesar terdapat pada dosis koagulan 0,4 g/L sebesar 29,82% yang termasuk buruk karena dalam rentang 21-40 %.

3.1.8. Penurunan TSS dari Kondisi Kontrol Pengendapan (KP) dengan Perlakuan Serbuk Biji Asam Jawa

Penurunan TSS merupakan nilai yang menunjukkan perubahan dari awal limbah cair murni tambang emas tradisional dengan perlakuan, yaitu penambahan dosis koagulan serbuk biji asam jawa serta pengendapan. Grafik penurunan nilai TSS disajikan pada Gambar 6.

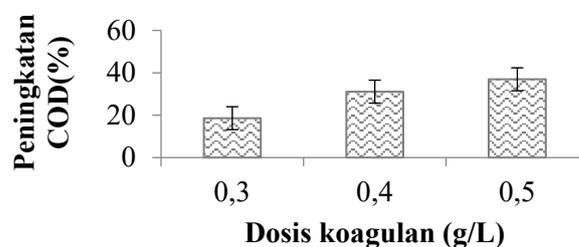


Gambar 6. Penurunan nilai TSS pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional lapang dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa. KP (Kontrol Pengendapan).

Gambar 6 dapat diketahui bahwa penurunan TSS terkecil terdapat pada dosis koagulan 0,5 g/L sebesar 96,23 % yang termasuk baik sekali karena dalam rentang 81-100 %, sedangkan penurunan TSS terbesar terdapat pada dosis koagulan 0,4 g/L sebesar 96,95% yang termasuk baik sekali karena dalam rentang 81-100 %. Penurunan TSS setelah pengendapan sebesar 95,65% yang termasuk baik sekali karena dalam rentang 81-100 %.

3.1.9. Peningkatan COD dari Kondisi Kontrol Pengendapan (KP) dengan Perlakuan Serbuk Biji Asam Jawa

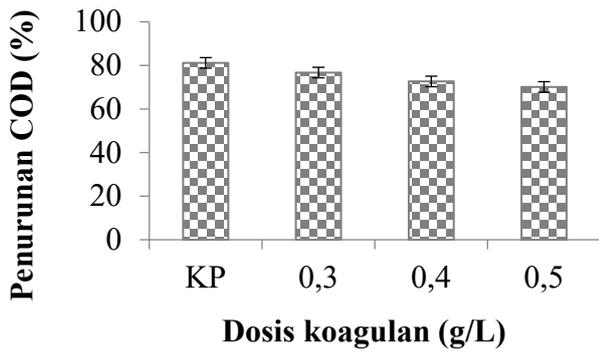
Peningkatan COD merupakan nilai yang menunjukkan perubahan dari awal limbah cair tambang emas tradisional yang sudah diendapkan dengan perlakuan, yaitu penambahan dosis koagulan serbuk biji asam jawa. Gambar 7 dapat diketahui bahwa peningkatan COD terkecil terdapat pada dosis koagulan 0,3 g/L sebesar 18,5%, sedangkan peningkatan COD terbesar terdapat pada dosis koagulan 0,5 g/L sebesar 36,95%. Grafik peningkatan nilai COD dicantumkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Peningkatan nilai COD pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional pengendapan dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa.

3.1.10. Penurunan COD dari Kondisi Kontrol Lapang (KL) ke Kondisi Kontrol Pengendapan (KP) dan Perlakuan Serbuk Biji Asam Jawa

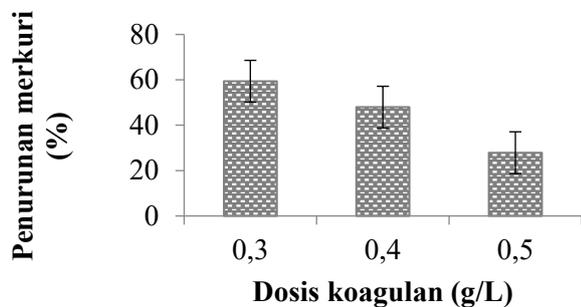
Penurunan COD merupakan nilai yang menunjukkan perubahan dari awal limbah cair murni tambang emas tradisional dengan perlakuan, yaitu penambahan dosis koagulan serbuk biji asam jawa serta pengendapan. Pada Gambar 8 dapat diketahui bahwa penurunan COD terkecil terdapat pada dosis koagulan 0,5 g/L sebesar 70,13% yang termasuk baik karena dalam rentang 61-80 %, sedangkan penurunan COD terbesar terdapat pada dosis koagulan 0,3 g/L sebesar 76,74% yang termasuk baik karena dalam rentang 61-80%. Penurunan COD setelah pengendapan sebesar 81,17% yang termasuk baik sekali karena dalam rentang 81-100%. Grafik penurunan nilai COD disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Penurunan nilai COD pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional lapang dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa. KP (Kontrol Pengendapan).

3.1.11. Penurunan merkuri (Hg) dari Kondisi Kontrol Pengendapan (KP) dengan Perlakuan Serbuk Biji Asam Jawa

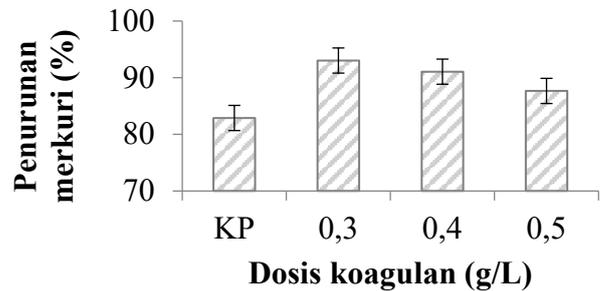
Penurunan merkuri merupakan nilai yang menunjukkan perubahan dari awal limbah cair tambang emas tradisional yang sudah diendapkan dengan perlakuan, yaitu penambahan dosis koagulan serbuk biji asam jawa. Gambar 9 dapat diketahui bahwa penurunan merkuri terkecil terdapat pada dosis koagulan 0,5 g/L sebesar 27,89% yang termasuk buruk karena dalam rentang 21-40%, sedangkan penurunan merkuri terbesar terdapat pada dosis koagulan 0,3 g/L sebesar 59,38% yang termasuk sedang karena dalam rentang 41-60%. Grafik penurunan nilai merkuri dicantumkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Penurunan nilai merkuri pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa.

3.1.12. Penurunan merkuri (Hg) dari Kondisi Kontrol Lapang (KL) ke Kondisi Kontrol Pengendapan (KP) dan Perlakuan Serbuk Biji Asam Jawa

Penurunan merkuri merupakan nilai yang menunjukkan perubahan dari awal limbah cair murni tambang emas tradisional dengan perlakuan, yaitu penambahan dosis koagulan serbuk biji asam jawa serta pengendapan. Grafik penurunan nilai merkuri dicantumkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Penurunan nilai merkuri pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional lapang dengan penambahan koagulan serbuk biji asam jawa. KP (kontrol pengendapan).

Gambar 10 dapat diketahui bahwa penurunan merkuri terkecil terdapat pada dosis koagulan 0,5 g/L sebesar 87,66% yang termasuk baik sekali karena dalam rentang 81-100 %, sedangkan penurunan merkuri terbesar terdapat pada dosis koagulan 0,3 g/L sebesar 93,03% yang termasuk baik karena dalam rentang 81-100%. Penurunan merkuri setelah pengendapan sebesar 82,89% yang termasuk baik sekali karena dalam rentang 81-100%.

3.2. Pembahasan

Pengolahan limbah adalah kegiatan penting yang akan mempengaruhi kehidupan pada lingkungan, termasuk limbah pengolahan emas. Pengolahan emas menghasilkan buangan berupa air, lumpur, dan bahan-bahan yang dipakai dalam proses pengolahan bijih emas (Siallagan 2010). Bahan yang digunakan dalam pengolahan bijih emas adalah merkuri yang berfungsi sebagai pengikat emas. Merkuri merupakan bahan berbahaya

bagi organisme yang ada di perairan dan bagi manusia yang ada di sekitar pengolahan emas. Sebagian besar kandungan merkuri yang terlepas dari proses pertambangan melekat pada sedimen, sebagian berubah menjadi metil merkuri yang bersifat sangat membahayakan fungsi pernafasan dan sistem metabolisme (Lesatarisa 2010).

Metode pengolahan limbah cair tambang emas tradisional dapat dilakukan dengan cara koagulasi. Pengolahan secara koagulasi membutuhkan bahan koagulan, seperti biji asam jawa. Ramadhani dan Moesriati (2013) menyatakan bahwa koagulan biji asam jawa berfungsi sebagai pengikat bahan tersuspensi yang tidak dapat mengendap secara alami, karena stabilitas suspensi koloid.

Derajat keasaman (pH) merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan intensitas keadaan asam atau basa suatu larutan (Sutrisno dan Eni 2006). Nilai pH murni limbah cair tambang emas tradisional sangat rendah, karena penambahan merkuri ke dalam proses pengolahan emas tersebut, namun nilai pH setelah didiamkan semakin meningkat sampai netral. Air limbah murni atau kontrol lapang (KL) juga semakin meningkat setelah ditambahkan serbuk biji asam jawa. Hal ini karena pengikatan ion H^+ oleh biji asam jawa, sesuai dengan Nurika *et al.* (2007) yang menyatakan bahwa partikel-partikel biji asam jawa mampu mengikat ion H^+ dari limbah cair menjadi menggumpal dan cepat mengendap.

Hasil pengukuran parameter pH pada penelitian limbah cair tambang emas tradisional sesuai dengan penelitian Nurika *et al.* (2007) yang menggunakan limbah cair tahu. Nilai pH awal pada penelitian Nurika *et al.* (2007) sebesar 3,93, setelah penambahan serbuk biji asam jawa rata-rata nilai pH *effluent* limbah berkisar antara 4,09-4,57. Peningkatan nilai pH pada penelitian Nurika *et al.* (2007) sebesar 16,28%.

TSS adalah padatan tersuspensi yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan tidak dapat mengendap secara langsung. Padatan tersuspensi terdiri atas partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, seperti bahan-bahan organik tertentu, tanah liat dan lain-lain. Nilai

TSS yang terdapat dalam limbah cair tambang emas sangat tinggi sebesar 1531,11 mg/L. Padatan tersuspensi yang sangat tinggi akan mengurangi penetrasi sinar matahari ke dalam air, sehingga dapat mempengaruhi regenerasi oksigen melalui fotosintesis. Setelah diendapkan nilai TSS turun menjadi 66,67mg/L.

Nilai TSS semakin menurun setelah ditambahkan serbuk biji asam jawa. Hal ini disebabkan biji asam jawa mampu mengikat partikel-partikel pada limbah. Nurika *et al.* (2007) menyatakan bahwa biji asam jawa mampu mengikat partikel-partikel sisa yang tidak dapat menggumpal dan padatan tersuspensi menjadi cepat mengendap dan menggumpal. Jeyakumar (2014) menyatakan bahwa penambahan koagulan alami seperti biji asam jawa mampu menghambat pembentukan material dan meningkatkan pengendapan partikel yang sudah terbentuk.

Hasil pengukuran parameter TSS pada penelitian limbah cair tambang emas tradisional sesuai dengan penelitian Hendriarianti dan Suhastrri (2011) yang menggunakan limbah cair tempe. Hasil pengukuran TSS semakin menurun setelah penambahan serbuk biji asam jawa. Nilai TSS awal pada penelitian Hendriarianti dan Suhastrri (2011) sebesar 1200 mg/L, setelah penambahan serbuk biji asam jawa rata-rata nilai TSS *effluent* limbah berkisar antara 200-500 mg/L. Penurunan nilai TSS pada penelitian Hendriarianti dan Suhastrri (2011) sebesar 83,3%.

COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan agar limbah organik yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Nurhasanah 2009). Nilai COD yang terdapat dalam limbah cair tambang emas tradisional sebesar 544,51 mg/L, setelah diendapkan nilai COD turun menjadi 102,53 mg/L, namun setelah ditambahkan serbuk biji asam jawa nilai COD meningkat. Hal ini menunjukkan dengan proses pengendapan limbah cair tambang emas tradisional dapat menurunkan nilai COD, tanpa perlu ditambahkan serbuk biji asam jawa.

Peningkatan nilai COD setelah ditambahkan serbuk biji asam dikarenakan biji

asam jawa mengandung bahan organik, sehingga bahan organik yang ada pada limbah meningkat. Rosyidah (2008) menyatakan bahwa meningkatnya nilai COD pada air menunjukkan bahwa kualitas air semakin menurun, jika kadar COD menurun maka kualitas air semakin baik. Eddy *in* Rosyidah (2007) menyatakan bahwa nilai COD yang ada di perairan tercemar semakin meningkat, karena bahan organik yang mampu diuraikan secara kimia lebih besar dibandingkan pengurai secara biologi. Menurut Hayati (2015) jika nilai pH semakin rendah, maka kemampuan biji asam jawa dalam menurunkan bahan organik akan semakin meningkat.

Hasil pengukuran parameter COD pada penelitian limbah cair tambang emas tradisional berbanding terbalik dengan penelitian Hendriarianti dan Suhastrri (2011) yang menggunakan limbah cair tempe. Nilai COD semakin menurun setelah penambahan serbuk biji asam jawa. Nilai COD awal pada penelitian Hendriarianti dan Suhastrri (2011) sebesar 993,3 mg/L dan setelah penambahan serbuk biji asam jawa rata-rata nilai COD *effluent* limbah berkisar 73,33-126,67 mg/L. Penurunan nilai COD pada penelitian Hendriarianti dan Suhastrri (2011) sebesar 92,2%.

Merkuri merupakan salah satu jenis logam berat yang termasuk kategori limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3), karena dapat membahayakan makhluk hidup dan mencemari lingkungan (Rondonuwu 2014). Proses pengolahan tambang emas tradisional membutuhkan merkuri untuk mengikat emas. Merkuri yang digunakan untuk melindi emas mengakibatkan kerusakan, yaitu pencemaran tanah, air dan vegetasi (Ferianto *et al.* 2012). Agus *et al.* (2005) menyatakan bahwa merkuri yang digunakan sebagai bahan pemisah emas dengan mineral lainnya menimbulkan dampak pencemaran lingkungan, terutama pada kualitas air sungai, karena kandungan logam berat yang berbahaya.

Penambahan serbuk biji asam jawa pada limbah yang telah mengalami pengendapan membuat nilai merkuri semakin menurun. Kualitas air akan lebih baik bagi

lingkungan, karena sedikit saja jumlah merkuri yang ada di alam akan berbahaya bagi lingkungan. Hendrawati *et al.* (2013) menyatakan bahwa mekanisme penyisihan ion logam dapat terjadi ketika terbentuknya flok pada proses koagulasi. Flok-flok yang terbentuk dan mengendap akan ikut mengendapkan logam merkuri dalam limbah, sehingga terjadi penurunan nilai merkuri. Nilai pH yang semakin tinggi menyebabkan penyerapan merkuri semakin rendah karena kelimpahan ion OH⁻ (Gayathri *et al.* 2013).

Pengolahan limbah cair tambang emas tradisional dengan penambahan serbuk biji asam jawa termasuk efektif. Hal ini terlihat dari persentase penurunan parameter pH, TSS dan merkuri antara kontrol pengendapan (KP) dengan penambahan serbuk biji asam jawa berturut turut sebesar 3,41%; 29,82%; dan 59,38%, namun nilai COD semakin meningkat. Peningkatan COD terkecil terdapat pada dosis serbuk biji asam jawa 0,3 g/L. Penurunan pH dan TSS terbesar berturut turut terdapat pada dosis 0,5 g/L dan 0,4 g/L, sedangkan penurunan merkuri terbesar terdapat pada dosis 0,3 g/L. Hal tersebut dapat diketahui bahwa dosis serbuk biji asam jawa yang paling efektif adalah 0,3 g/L.

Efektivitas pengolahan limbah cair tambang emas tradisional dengan penambahan serbuk biji asam jawa juga dapat dilihat dari persentase penurunan parameter TSS, COD, dan merkuri dengan kontrol lapang (KL). Persentase penurunan parameter TSS, COD, dan merkuri berturut turut sebesar 96,95%; 76,74%; dan 93,03%, namun nilai pH semakin meningkat. Peningkatan pH terbesar terdapat pada dosis serbuk biji asam jawa 0,3 g/L. Penurunan TSS terbesar terdapat pada dosis 0,4 g/L, kemudian penurunan COD terbesar terdapat pada dosis 0,4 g/L, sedangkan penurunan merkuri terbesar terdapat pada dosis 0,3 g/L. Hal tersebut dapat diketahui bahwa dosis serbuk biji asam jawa yang paling efektif adalah 0,3 g/L.

4. Kesimpulan

Penambahan serbuk biji asam jawa dapat digunakan sebagai koagulan alami pada

pengolahan limbah cair tambang emas tradisional. Pada penelitian didapatkan penurunan nilai pH, TSS, dan merkuri, tetapi tidak pada nilai COD. Dosis serbuk biji asam jawa yang efektif sebagai koagulan pada pengolahan limbah cair tambang emas tradisional sebesar 0,3 g/L.

Daftar Pustaka

- [APHA] American Public Health Association. 2012. *Standard Methods for The Examination of Water and Waste Water 21st Edition*. Ohio (US): American Public Health Association.
- Agus C, Sukandarrumidi, Wintolo D. 2005. Dampak Limbah Cair Hasil Pengolahan Emas Terhadap Kualitas Air Sungai dan Cara Mengurangi Dampak dengan Menggunakan Zeolit. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 12(1):13-19.
- Ahalya N, Kanamadi RD, Ramachandra TV. 2008. Adsorption of Chromium (IV) by *Tamarindus indica* Pod Shell. *Journal of Environmental Science Research International*. 1(2):77-81.
- Amagloh FK, Benang A. 2009. Effectiveness of *Moringa oleifera* seed as coagulant for water purification. *AJAR*. 4(1):119-123.
- Arifin M. 2000. Pengolahan limbah hotel berbintang [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Effendi H. 2003. Telaah Kualitas Air. Yogyakarta (ID): Kanisius.
- Ferianto, Burhanuddin, Widiastuti T. 2012. Kadar dan Sebaran Pencemaran Merkuri (Hg) Akibat Penambangan Emas Rakyat di Lokasi Hutan Kerangas Kecamatan Mandor Kabupaten Landak. Pontianak (ID): Universitas Tanjungpura Press.
- Gayathri R, Thirumarimurugan M, Kannadasan T. 2013. Removal of Chromium (VI) Ions from Aqueous Solution Using Tamarind Seeds as an Adsorbent. *IJPCS*. 2(2):984-991.
- Hayati EI. 2015. Pemanfaatan serbuk biji asam jawa (*Tamarindus indica* L.) untuk pengolahan limbah cair industri tempe [skripsi]. Semarang (ID): Universitas Negeri Semarang.
- Hendrawati, Syamsumarsih D, Nurhasni. 2013. Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* L.) dan Biji Kecap (*Phosopocarpus tetragonolobus* L.) sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah. *Valensi*. 17(3):23-24.
- Hendriarianti E, Suhastri H. 2011. Penentuan Dosis Optimum Koagulasi Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* L.) dalam Penurunan TSS dan COD Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit di Kota Malang. *Spectra*. 17(9):12-22.
- Jeyakumar P. 2014. Purification of Pond Water by Natural Seeds and Dye Water by Synthetic Coagulant. *JCHPS*. 50-51.
- Lestarisia T. 2010. Faktor-faktor yang berhubungan dengan keracunan merkuri (Hg) pada penambangan emas tanpa ijin (PETI) di kecamatan Kurun, kabupaten Gunung mas, Kalimantan Tengah [tesis]. Semarang (ID): Universitas Diponegoro.
- Madhavi TP, Rajkumar R. 2013. Utilisation of Natural Coagulant for Reduction of Turbidity from Waste Water. *International Journal of Chemtech Research*. 5(3):1119-1123.
- Mahmud M, Lihawa F, Isa I, Patuti IM. 2012. Fitoremediasi Sebagai Alternatif Pengurangan Limbah Merkuri Akibat Penambangan Emas Tradisional di Ekosistem Sungai Tulabolo Kabupaten Bone Bolango. Universitas Negeri Gorontalo Press.
- Montgomery DC. 2000. *Design And Analysis of Experiments* "5th ed". New York (US): John Wiley & Son, Inc.
- Nurhasanah. 2009. Penentuan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) pada limbah cair pabrik kelapa sawit, pabrik karet, dan domestik [karya ilmiah]. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.
- Nurika I, Mulyarto AR, Afshari K. 2007. Pemanfaatan Biji Asam Jawa

- (*Tamarindus indica*) sebagai Koagulan pada Proses Koagulasi Limbah Cair Tahu (Kajian Konsentrasi Serbuk Biji Asam Jawa dan Lama Pengadukan). *JTP*. 8(3):215-220.
- Rahman MM, Sarker P, Saha B, Jakarin N, Shammi M, M. Khabir U, Sikder MT. 2015. Removal of Turbidity from the River Water using *Tamarindus indica* and Litchi chinensis Seeds as Natural Coagulant. *IJEPP*. 3(2-1):19-26.
- Ramadhani GI, Moesriati A. 2013. Pemanfaatan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) sebagai Koagulan Alternatif dalam Proses Menurunkan Kadar COD dan BOD dengan Studi Kasus pada Limbah Cair Industri Tempe. *POMITS*. 2(1):2337-3539.
- Rondonuwu SB. 2014. Fitoremediasi Limbah Merkuri Menggunakan Tanaman dan Sistem Reaktor. *Jurnal Ilmiah Sains*. 14(1):53-59.
- Rosyidah C. 2008. Uji dosis serbuk biji asam jawa (*Tamarindus indica*) sebagai biokoagulan terhadap kualitas air ditinjau dari aspek fisik, kimia, dan bakteriologi [skripsi]. Malang (ID): UIN Malang.
- Shlini P, Murthy KRS. 2016. Purification of Phenolics from Defatted Tamarind Kernel Powder. *Asian J. Plants Sci. Res*. 6(4):48-52.
- Siallagan MB. 2010. Analisis buangan berbahaya pertambangan emas di Gunung Pongkor [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Soemardji AA. 2007. *Tamarindus indica* L. or “Asam Jawa”: The Sour but Sweet and Useful. University of Toyama. Japan.
- Sugianti T, Sudjudi, Syahri. 2014. Penyebaran Cemaran Merkuri pada Tanah Sawah Dampak Pengolahan Emas Tradisional di Pulau Lombok NTB. Seminar Nasional Lahan Suboptimal; 2014 September 26-27; Palembang, Indonesia. NTB (ID): BPTP. hlm 41. 1-7.
- Sumual H. 2009. Karakterisasi Limbah Tambang Emas Rakyat Dimembe Kabupaten Minahas Utara. *AGRITEK*. 17(5):932-938.
- Sutrisno T, Eni S. 2006. *Teknologi penyediaan air bersih*. Jakarta (ID): Rineka Cipta.