

Efektivitas Elektroda pada Proses Elektrokoagulasi untuk Pengolahan Air Asam Tambang

ASHARI¹⁾, DEDIK BUDIANTA²⁾, DAN DEDI SETIABUDIDAYA³⁾

¹⁾Mahasiswa S2 Program Studi Pengelolaan Lingkungan Universitas Sriwijaya; ²⁾Staf Pengajar Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya; ³⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya

Intisari: Air limpasan dari aktivitas pertambangan batubara sangat berpotensi pada pembentukan air asam tambang. Air asam tambang yang berasal dari mine sump area tambang Air Laya PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. mempunyai nilai pH rendah yaitu berkisar dari 3 sampai 5, kondisi ini akan melarutkan unsur-unsur logam seperti Fe dan Mn pada batuan yang dilalui oleh air asam tambang tersebut. Elektrokoagulasi merupakan metode untuk melakukan proses koagulasi dengan menggunakan tegangan listrik searah yang didasarkan pada peristiwa elektrokimia. Penelitian dilakukan dengan sistem batch skala laboratorium yaitu menggunakan volume air asam tambang 1,8 L, elektroda besi (Fe) 8 cm x 11 cm x 0,8 mm sebanyak 3 lempeng sebagai katoda dan elektroda aluminium (Al) 8 cm x 11 cm x 0,8 mm sebanyak 3 lempeng sebagai anoda. Percobaan dilakukan dengan interval waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit, lalu menggunakan tegangan 6 V, 12 V, dan 24 V untuk jarak elektroda yaitu 1,5 cm dan 2 cm. Dengan tetap mempertimbangkan faktor ekonomi maka diketahui waktu, jarak dan tegangan DC yang paling efektif digunakan untuk proses elektrokoagulasi adalah 12 Volt dan 45 menit yang akan menghasilkan persen peningkatan nilai pH = 32,96 ; persen penurunan logam Fe = 94,0111 ; dan persen penurunan logam Mn = 88,2878, akan tetapi faktor jarak antara elektroda tidak berpengaruh pada proses ini.

Kata kunci: elektrokoagulasi, efektivitas elektroda, air asam tambang

Abstrak: Water runoff from coal mining activities are potentially to the formation of acid mine drainage. Acid mine drainage coming from the mine sump Air Laya mining area of PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. has a low pH value which ranges from 3 to 5, this condition will dissolve metal elements such as Fe and Mn in the rocks traversed by the acid mine water. Electrocoagulation is a method to perform coagulation process using DC voltage which is based on electrochemical proses. The research was conducted with laboratory-scale using batch systems that use acid mine drainage volume of 1.8 L, electrode iron (Fe) 8 cm x 11 cm x 0.8 mm by 3 plate as cathode and electrode aluminum (Al) 8 cm x 11 cm x 0.8 mm by 3 plate as the anode. The experiments were performed at intervals of 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes and 60 minutes, then use a DC voltage 6 V, 12 V, and 24 V, for the variation of electrode spacing 1.5 cm and 2 cm. While considering economic factors, it is known the time, distance and the most effective DC voltage used for electrocoagulation process is 12 Volt and 45 minutes which will generate percent increase in the value of pH = 32.96; percent decrease in Fe = 94.0111; and percent decrease in metal Mn = 88.2878, but the distance factor of electrode has no effect on this process.

Keywords: electrocoagulation, effectiveness electrodes, acid mine drainage

E-mail: real_ashari@yahoo.com

1 PENDAHULUAN

Kebutuhan batubara untuk pembangkit tenaga listrik yang semakin meningkat akan berkaitan erat dengan peningkatan aktivitas pertambangan batubara di Indonesia. Secara umum, salah satu tahapan dalam aktivitas penambangan adalah penguapan tanah penutup. Secara kimia apabila tanah penutup yang dikupas mengandung material mineral sulfida kemudian terpapar oleh udara dan air hujan, maka akan terjadi proses pembentukan Air Asam Tambang (AAT / Acid Mine Drainage / AMD). Secara alami di dalam air asam tambang akan ber-

kembang bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* yang berperan sebagai katalis pembentukan air asam tambang tersebut.

Air asam tambang yang telah mengalami proses reaksi kimia akan berdampak langsung pada kualitas tanah dan air tanah karena pH air dan tanah di area tersebut menurun sangat tajam. PTBA telah melakukan uji geokimia batuan bekerja sama dengan LAPI ITB, pada umumnya formasi batuan di IUP Tambang Air Laya terdiri dari batuan *Potensial Acid Forming* (PAF) (Sipahutar, 2013). Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Widyati (2010) pada lahan bekas tambang batubara PT. Bukit Asam Tbk. diperli-

hatkan bahwa pH tanah mencapai 3,2 dan pH air berada pada kisaran 2,8. Pada kasus ini pH tanah yang sangat menurun akan mengganggu keseimbangan unsur hara pada area lahan itu. Menurut Hards and Higgins (2004) dalam Widyati (2010) turunnya pH secara drastis akan meningkatkan kelarutan logam-logam berat pada lingkungan tersebut. Sesuai dengan konsep ini tentunya kondisi lingkungan dengan pH rendah mengakibatkan ketidaktersediaan unsur hara makro dikarenakan unsur-unsur makro tersebut terikat oleh unsur logam sedangkan bersamaan dalam kondisi ini kelarutan dari pada unsur hara mikro akan semakin meningkat.

Adapun dampak dari AAT ini di antaranya adalah perusahaan pertambangan mengalami dampak percepatan proses korosif pada peralatan yang berbahan besi atau baja sehingga menyebabkan kerusakan peralatan menjadi semakin cepat yang tentunya berpengaruh pada keuangan perusahaan sebagai beban belanja perusahaan penambang tersebut, pada biodiversitas, dampak dari AAT ini adalah merusak sistem kehidupan fauna juga flora yang terjadi di area bekas aktivitas pertambangan dan kehidupan di sepanjang aliran sungai yang dilalui oleh air asam tambang ini baik yang disengaja ataupun tidak disengaja. Dengan adanya peristiwa ini maka kualitas air yang ada di sekitar area pertambangan akan mengganggu tingkat kesehatan manusia. Dampak lain yang ditimbulkan oleh AAT yaitu meningkatkan kesulitan saat melakukan reklamasi lahan bekas tambang tersebut karena kualitas tanah dan air yang terlalu asam bagi tanaman untuk tumbuh dan berkembang.

Pengelolaan air asam tambang yang telah dilakukan oleh PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. menggunakan dua sistem pengelolaan yaitu pengelolaan secara preventif dan pengelolaan secara kuratif. Pengelolaan secara kuratif dilakukan pada AAT yang telah terbentuk sebagai air permukaan. Pengelolaan secara kuratif terdiri dari dua metode yaitu metode pasif (*passive treatment*) dan metode aktif (*active treatment*). Metode aktif merupakan pengelolaan AAT dengan cara menambahkan bahan kimia untuk memperbaiki kualitasnya. Pengelolaan dengan metode aktif dilakukan dengan tujuan mengendapkan partikel yang terkandung di dalam AAT. Metode aktif yang telah dilakukan oleh PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. yaitu dilakukan dengan dua cara, pertama menggunakan kapur tohor (CaO) atau batu kapur (CaCO₃) pada AAT yang berasal dari *mine sump* dengan tujuan menaikkan pH AAT namun akan mengurangi kejernihan air tersebut dan metode kedua dilakukan dengan penambahan Kuriflok. Kuriflok ini merupakan jenis koagulan yang ber-

fungsi untuk proses koagulasi yang bertujuan menjernihkan air dan tidak mempengaruhi pH air.

Teknologi elektrokoagulasi sangat menarik digunakan untuk pengolahan air asam tambang karena flokulan yang dihasilkan hanya berasal dari air asam tambang tersebut tanpa adanya tambahan bahan campuran koagulan dari luar, selain itu tidak terdapat potensi pencemaran dari cecceran bahan kimia saat penyimpanan atau saat distribusi bahan kimia ke lokasi pengolahan limbah cair.

Elektrokoagulasi adalah proses penggumpalan dan pengendapan partikel – partikel halus yang terdapat dalam air dengan menggunakan energi listrik. Prinsip dasar dari elektrokoagulasi menggunakan reaksi reduksi dan oksidasi (redoks). Dalam suatu sel elektrokoagulasi, peristiwa oksidasi terjadi di elektroda positif (+) yaitu anoda, sedangkan reduksi terjadi di elektroda negatif (-) yaitu katoda. Adapun komponen yang terlibat dalam reaksi elektrokoagulasi selain elektroda adalah air yang diolah tersebut karena air asam tambang berfungsi sebagai larutan elektrolit.

2 METODOLOGI

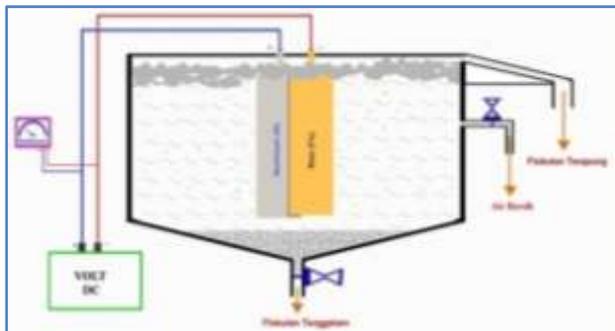
Alat dan Bahan

Rancangan alat untuk proses elektrokoagulasi konfigurasi monopolar dengan sistem batch untuk pengolahan limbah pertambangan batubara skala Laboratorium, Air Asam Tambang yang diambil dari aktivitas pertambangan batubara PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. Prinsip kerja dari sistem ini dengan menggunakan enam buah lempeng elektroda, terdiri dari 3 lempeng besi sebagai katoda dan 3 lempeng aluminium sebagai anoda. masing-masing elektroda mempunyai panjang 11 cm, tinggi 8 cm dan ketebalan 0,8 cm. enam buah elektroda ini dimasukkan ke dalam bejana sebagai reaktor tempat terjadinya proses elektrokoagulasi. Reaktor ini memiliki panjang 15 cm, lebar 15 cm dan tinggi 11,5 cm yang berasal dari bahan kaca dengan ketebalan 5 cm. Bagian bawah reaktor ditiruskan pada ketinggian 3,5 cm hingga ke dasar reaktor dengan panjang sisi miring 6 cm.

Waktu dan Tempat

Sampel air pertambangan diambil pada areal pertambangan PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. yang berlokasi di Airlaya Tanjung Enim, Sumatera Selatan kemudian akan dilakukan analisa untuk penelitian pH, Fe, Mn, dan TSS di laboratorium PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. Penelitian dilakukan mulai tanggal 10

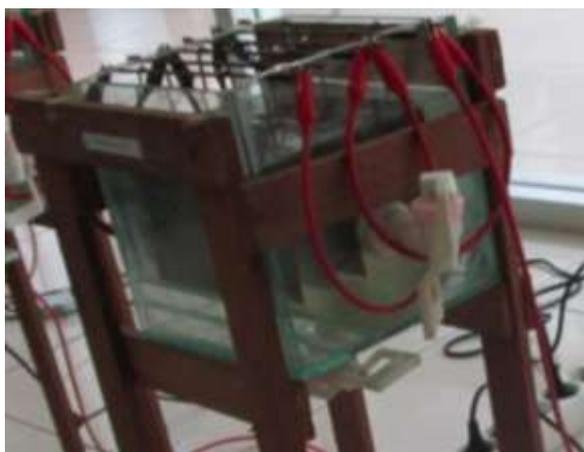
Desember 2014 sampai dengan tanggal 23 Januari 2015.



Gambar 1. Rancangan percobaan unit elektrokoagulasi

Perlakuan

Sampel air limbah diambil dari lapangan, kemudian proses elektrokoagulasi dilakukan untuk mengetahui dan menentukan pada tingkat berapa efektifitas yang paling baik untuk tegangan listrik DC yang diperlukan, jarak antara elektroda dan waktu proses elektrokoagulasi yang terjadi di dalam air asam tambang PT. Bukit Asam (Persero), Tbk.



Gambar 2. Proses elektrokoagulasi

Reaktor diisi dengan air asam tambang PT. Bukit Asam (Persero), Tbk. sebanyak 1800 mL. Selanjutnya elektroda dialiri arus listrik searah dengan menggunakan tegangan sesuai data yang telah ditetapkan untuk penelitian ini, begitu juga untuk pengaturan jarak dan waktu yang telah ditetapkan sehingga terjadilah proses elektrokimia di dalam air asam tambang tersebut yang menyebabkan kation bergerak menuju katoda dan anion bergerak menuju anoda. Pada akhirnya akan terbentuk flokulan-flokulan terapung dan tenggelam yang berasal dari partikel-partikel di dalam air asam tambang yang mengalami reaksi tersebut.

Pengambilan Data

Metode pengambilan data dilaksanakan dengan cara pengukuran kadar pH air, besi (Fe), mangan (Mn) dan Total Suspended Solid (TSS) saat sebelum dan sesudah proses elektrokoagulasi pada skala laboratorium dengan menggunakan air asam tambang yang berasal dari *mine sump* (KPL Udongan) tambang Air Laya milik PT. Bukit Asam yang mewakili keseluruhan air asam tambang PT. Bukit Asam (Persero), Tbk Tanjung Enim, Sumatra Selatan. Pengambilan data pH menggunakan alat ukur pH meter, untuk data TSS menggunakan perlengkapan alat ukur kadar TSS dengan sistem gravimetri dan alat pengambilan data kadar Fe dan Mn yaitu menggunakan spektrofotometri serapan atom (SSA) nyala,

Analisa Data

Analisa data hasil penelitian menggunakan program komputer SPSS 16.0 desain RAL faktorial $3 \times 2 \times 4$ yaitu: 3 variasi tegangan DC, 2 variasi Jarak Elektroda, dan 4 variasi untuk lama waktu proses percobaan, sehingga secara keseluruhan terdapat 24 perlakuan, masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali. Lalu Dilakukan analisis deskriptif untuk melihat ukuran pemusatan dan ukuran penyebaran data, dalam hal ini ukuran pemusatan datanya adalah mean (rata-rata) dan ukuran penyebarannya adalah standar deviasi dari hasil nilai pH, Fe, dan Mn pada air asam tambang untuk setiap variasi tegangan, jarak dan waktu proses elektrokoagulasi. Kemudian dilakukan analisis ragam (Anova) untuk menguji terdapat atau tidaknya pengaruh dari variasi tegangan, jarak elektroda dan waktu proses terhadap nilai pH dan kandungan logam Fe dan logam Mn serta juga digunakan untuk menguji apakah terdapat interaksi yang nyata antara besar tegangan dengan jarak dan lama waktu pemrosesan elektrokoagulasi. Selanjutnya dilakukan uji Duncan yang merupakan uji lanjut untuk mengetahui adanya perbedaan mean (rata-rata) dari hasil proses elektrokoagulasi (pH, Fe, dan Mn) antara 3 jenis tegangan (6 V, 12 V dan 24 V) dan antara 2 macam jarak elektroda (1,5 cm dan 2 cm) serta lama waktu antara 4 waktu pemrosesan (15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit). Setelah analisis secara statistik dilakukan maka data tersebut dapat digunakan untuk menentukan keefektifan sistem variasi elektroda pada proses elektrokoagulasi.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari analisa RAL Faktorial, Anova dan Duncan dihasilkan bahwa jarak tidak berpengaruh pada proses elektrokoagulasi yang dilakukan pada air asam tam-

bang sedangkan untuk pengaruh tegangan dan waktu terhadap nilai pH, Fe dan Mn ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil analisis anova (Duncan)

hasil dari analisis of varian "Duncan"				
		pH	Fe	Mn
Tegangan	6			
	12	*	*	*
	24	*	*	*
	15	*	*	*
	30	*	*	*
Waktu	45	*	*	*
	60	*	*	*

Tanda (*) pada kolom yang sama menunjukkan besar pengaruh yang sama



Gambar 1. Grafik hubungan pengaruh waktu dan tegangan 12 V terhadap nilai pH, Fe dan TSS

pH = 14,98 ; Fe = 65,4912 ; Mn = 15,5579 ; Waktu = 45 menit ; Jarak 2 cm; Tegangan 6 V ; harga listrik PLN adalah Rp 1200/kwh, tegangan (V) yang dikeluarkan untuk pengoperasian alat pada tegangan 6 Volt adalah I = 2 Ampere. Waktu operasi selama 30 menit adalah:

$$P = V.I.h/1000 = 6 \times 2 \times 0,5/1000 = 0,006 \text{ KWh}$$

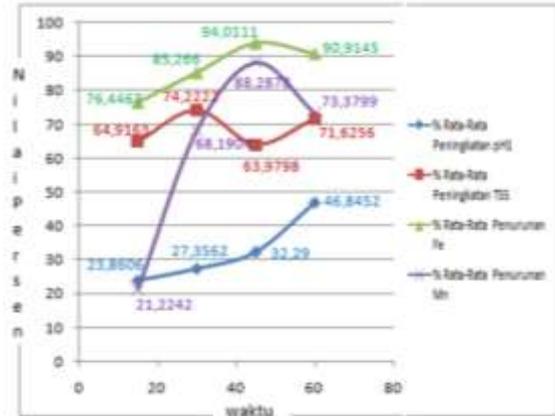
Biaya listrik adalah biaya pemakaian untuk reaksi koagulasi KWh (Rp/KWh) dikalikan dengan besarnya daya listrik yang digunakan yaitu Rp 1200 / Kwh x 0,006 KWh = Rp 7,2. Biaya total untuk 1,8 liter AAT adalah biaya listrik + biaya anoda = Rp 7,2 + Rp 10,00 = Rp 36,6.

pH = 32,96 ; Fe = 94,0111 ; Mn = 88,2878 ; waktu = 45 menit ; jarak 2 cm; tegangan 12 V ;

biaya Litrik PLN Rp 1200 / kwh, tegangan (V) yang dikeluarkan untuk pengoperasian alat pada tegangan

12 Volt adalah I = 2 Ampere. Waktu operasi selama 45 menit adalah:

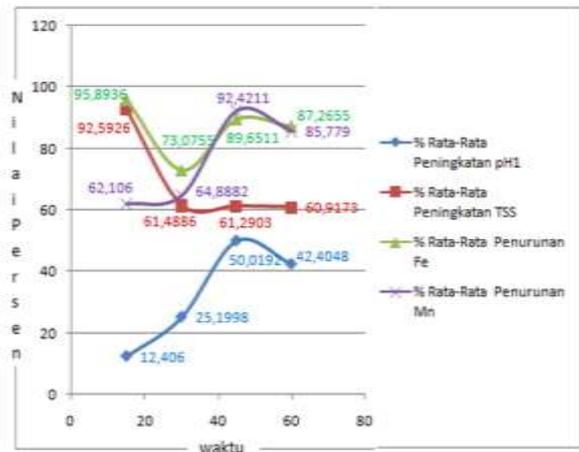
$$P = V.I.h/1000 = 12 \times 2 \times 0,75/1000 = 0,018 \text{ KWh.}$$



Gambar 3. Grafik hubungan pengaruh waktu dan tegangan 12 V terhadap nilai pH, Fe dan TSS

Biaya listrik adalah biaya pemakaian untuk reaksi koagulasi KWh (Rp/KWh) dikalikan dengan besarnya daya listrik yang digunakan yaitu Rp 1200 / Kwh x 0,018 KWh = Rp 21,6

Biaya total untuk 1,8 liter AAT adalah biaya listrik + biaya anoda = Rp 21,6 + Rp 15,00 = Rp 36,6



Gambar 4. Grafik hubungan pengaruh waktu dan tegangan 12 V terhadap nilai pH, Fe dan TSS

pH = 50,02 ; Fe = 89,6511 ; Mn = 92,4211 ; waktu = 45 menit ; Jarak = 1,5 cm; V = 24 V ;

biaya Litrik PLN Rp 1200 / kwh, tegangan (V) yang dikeluarkan untuk pengoperasian alat pada tegangan 12 Volt adalah I = 2 Ampere. Waktu operasi selama 45 menit adalah:

$$P = V.I.h/1000 = 24 \times 4 \times 0,75/1000 = 0,072 \text{ KWh}$$

Biaya listrik adalah biaya pemakaian untuk reaksi koagulasi KWh (Rp/KWh) dikalikan dengan besarnya daya listrik yang digunakan yaitu Rp 1200 / Kwh x 0,072 KWh = Rp 86,4.

Biaya total untuk 1,8 liter AAT adalah biaya listrik + biaya anoda = Rp 86,4 + Rp 94,5 = Rp 180,9

4 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil analisa statistik yang ditunjukkan pada data yang terdapat pada tabel 1 disimpulkan bahwa pengaruh tegangan akan mempunyai nilai yang sama terhadap persentase perubahan pH, Fe dan Mn. Waktu proses elektrokoagulasi terhadap persen perubahan nilai pH selama 15 menit akan sama dengan 30 menit dan waktu proses 45 menit akan sama dengan 60 menit. Pengaruh lama waktu reaksi terhadap nilai Fe menunjukkan persen perubahan yang sama untuk waktu 15, 30, 45, dan 60 menit. Sedangkan untuk perubahan persen nilai Mn menunjukkan hasil yang sama untuk lama waktu proses 15, 20 dan 60 menit dan untuk waktu proses 30,45 dan 60 menit juga menunjukkan besarnya nilai persen perubahan yang sama.
2. Analisa untuk grafik hasil proses elektrokoagulasi di fokuskan pada pengaruh tegangan dan waktu terhadap nilai pH dan Mn yang memiliki nilai paling baik. Sebagai tambahan analisa dalam menentukan variasi yang paling baik untuk penerapan proses elektrokoagulasi maka perlu juga adanya perhitungan ekonomi sebagai pertimbangan dalam penerapannya. Dengan pertimbangan ini maka disimpulkan bahwa kondisi yang paling baik untuk melakukan proses elektrokoagulasi adalah menggunakan tegangan 12 Volt dan 45 menit

Saran

1. Berdasarkan dari hasil analisa yang didapat maka disarankan kepada PT.Bukit Asam (Persero), Tbk. dapat menerapkan teknologi elektrokoagulasi pada proses pengelolaan air asam tambang sebagai salah satu penerapan pengelolaan air asam tambang secara aktif.
2. Untuk kajian lanjutan maka disarankan agar dapat melengkapi teknologi elektrokoagulasi dengan tambahan teknologi penyaringan yang baik untuk hasil akhir dari air proses elektrokoagulasi agar air asam tambang yang telah dilakukan per-

lakukan dapat di konsumsi oleh manusia dan makhluk hidup lainnya secara aman.

REFERENSI

- [1] Achmad, Rukaesih. 2004. *Kimia Lingkungan*. Andi Yogyakarta. Yogyakarta.
- [2] Adonara, Erlinda. 2012. penentuan kadar besi dan mangan dalam air minum isi ulang (AMIU), <http://erlindaadonara.blogspot.com/2013/01/penentuan-kadar-besi-dan-mangan-dalam.html> , SAINS
- [3] Davis, Mackenzie L. And D.A. 2006. *Introduction to Environmental Engineering Third Edition*, McGraw Hill, Singapore.
- [4] Deputi MENLH Bidang Kebijakan dan Kelembagaan Lingkungan Hidup. 2003. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 113 Tahun 2003, Lampiran II. Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan Atau Kegiatan Pertambangan Batu Bara, Indonesia.
- [5] Eaton, A.A., Clescerl, L.S., Rice, E.W., & Greenberg, A.E. 2005. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 21st Edition. Jointly published by the American Public Health Association (APHA), Washington, D.C; American Water Works Association (AWWA), Denver, Colorado; and Water Environment Federation (WEF), Alexandria, Virginia.
- [6] Fitri, Aristya Ardhani. 2009 Penanganan Limbah Cair Rumah Pematangan Hewan Dengan Metode Elektrokoagulasi. Universitas Diponegoro.Semarang
- [7] Gameissa, Mutiara Wandika. 2012. Pengolahan Tersier Limbah Cair Industri Pangan Dengan Teknik Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Stenliss Steel. E,jurnal Agroindustri Indonesia. Jawa Barat
- [8] Harjadi, W. 1990. *Ilmu Kimia Analitik Dasar*. PT. Gra-media. Jakarta.
- [9] Iswanto, Bambang. 2009. Pengolahan Air Limbah Emulsi Minyak-Deterjen dengan Proses Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium. Jurnal Teknologi Lingkungan. Jakarta
- [10] Jensen, William B. 2012. *Faraday's Laws or Faraday's Law*. Department of Chemistry, University of Cincinnati. Cincinnati
- [11] Khopkar, S.M. 2003. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- [12] Lukismanto, Andri. 2010. Aplikasi Elektrokoagulasi Pasangan Elektroda Besi Untuk Pengolahan Air Dengan Sistem Kontinyu. Tekniklingkungan-FTSP-ITS. Surabaya
- [13] Pelitasari, Lilian. 2013. *Efektifitas Variasi Elektroda Pada Proses Elektrokoagulasi Konfigurasi Monopolar Dengan Sistem Batch untuk Pengolahan Limbah Laundry*. Pa-lembang : Pasca Sarjana Universitas Sriwijaya
- [14] Prayitno, Endro Kismolo. 2012. Percobaan Awal Proses Elektrokoagulasi sebagai Metode Alternatif Pada Pengolahan Limbah Cair. Pusat Teknologi Akselerator. Yogyakarta

- [15] Qasim, Syed R., Edward M. Motley, Guang Zhu.. *Water Works Engineering Planning, Desain and Operation*. Prentice Hall: USA. 2000.
- [16] Roihatin, Anis. 2009. Pengolahan Air Limbah Rumah Potong Hewan (RPH) Dengan Cara Elektrokoagulasi Aliran Continyu. Universitas Diponegoro. Semarang
- [17] Rusdianasari. 2014. Model Pengelolaan Lingkungan *Stockpile* Batubara di Lahan Basah. Unversitas Sriwijaya. Palembang
- [18] Said, N.I. 2005. Metode Penghilangan Zat Besi dan Mangan di dalam Penyediaan Air Minum Domestik. *Jurnal Air Indonesia (JAI)*, 1(5) 239-250.
- [19] Said, N.I. 2008. *Teknologi Pengelolaan Air Minum, Teori dan Pengalaman Praktis*. Jakarta: Pusat Teknologi Lingkungan, Deputi Bidang Teknologi Pengembangan Sumber Daya Alam. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- [20] Siriango, Elfridawati. 2013. Penggunaan Metode Elektrokoagulasi Pada pengolahan Limbah Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Aluminium Sebagai Sacrificial Electrods. *Jurnal Si Tek kimia*. Bandung.
- [21] Sipahutar, Renni. 2013. Analisis Pengelolaan Limbah Air Asam Tambang Di Iup Tambang Air Laya Pt. Bukit Asam (Persero), Tbk. Unit Pertambangan Tanjung Enim Tahun 2013. UNSRI. Indralaya.
- [22] Susetyaningsih, Retno. 2008. Kajian Proses Elektrokoagulasi Untuk Pengolahan Limbah Cair. Seminar Nasional. Jogjakarta.
- [23] Sutanto. 2011. Penurunan Kadar Logam Berat dan Kekeruhan Air Limbah Menggunakan Proses Elektrokoagulasi. *Jurnal Ilmiah Elite Elektro*. Jakarta
- [24] Thayyibah, Zurriyatin. 2010. Penentuan Total Suspended Solid (TSS) Dalam Air Sungai Deli Dan Pengaruhnya Terhadap Waktu Penyimpanan Karya Ilmiah. Karya Ilmiah Universitas Sumatra Utara. Medan
- [25] Viessman, W and M.J. Hammer. 1985. *Water Supply and Pollution Control*, Fourth Edition. Harper and Row Publisher. New York.
- [26] Wardhani, Eka. 2012. Penerapan Metode Elektrokoagulasi Dalam Pengolahan Air Limbah Industri Penyamakan Kulit. Seminar Ilmiah Nasional Universitas Gajah Madah. Jogjakarata
- [27] Yulianto, Andik. 2009. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Pada Skala Laboratorium Dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi. *Jurnal Ilmiah Jurusan teknik Lingkungan*. Yogyakarta