

# PEMANFAATAN ELEKTRODA KARBON DAN ALUMINIUM UNTUK MENURUNKAN ION-ION TERLARUT LIMBAH *STOCKPILE* BATUBARA

Andi Arif Setiawan <sup>1)</sup>, Parmin Lumbantoruan <sup>2\*)</sup>, Erik Novaldo <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Sains Lingkungan, F. Sains dan Teknologi Universitas PGRI Palembang,

<sup>2)</sup>Program Studi Fisika, F. Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Palembang

\*\*)Correspondence email: parmin.lt70@gmail.com

## Abstrak

Kegiatan pertambangan batubara selain berdampak positif bagi peningkatan perekonomian dan menyerap tenaga kerja, juga berdampak negatif berupa pencemaran lingkungan. Aktifitas pertambangan batubara tersebut diantaranya yaitu penyimpanan sementara (*stockpile*) batubara. *Stockpile* batubara ketika terpapar hujan menyebabkan unsur yang terkandung di batubara tersebut akan terlarut menjadi ion-ion yang akhirnya terbawa oleh aliran air, hal ini mempengaruhi kualitas lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis penurunan ion-ion terlarut dari limbah air *stockpile* batubara dengan menggunakan elektrolisis. Metode yang digunakan yaitu survey di lokasi *stockpile* batubara Keramasan Kertapati Palembang, berupa pengamatan langsung di lapangan disertai pengambilan sampel. Tahapan selanjutnya dilakukan percobaan di laboratorium. Elektroda yang digunakan sebagai anoda (kutub +) yaitu karbon dan katoda (kutub -) yaitu aluminium. Elektrolisis dilakukan dengan memvariasikan lamanya waktu elektrolisis (15, 30, 45, 60 dan 75 menit). dan kuat arus listrik (0,5, 1 dan 2 A). Hasilnya menunjukkan bahwa penurunan ion terlarut terbesar pada arus listrik 2 A dan lamanya waktu 75 menit, penurunannya sebesar 29,627%

**Kata Kunci:** Elektroda karbon, Elektroda Aluminium, Ion Terlarut, Lamanya Waktu, Kuat Arus Listrik

## PENDAHULUAN

Industrialisasi di Indonesia, merupakan ‘primadona’ dalam usaha pembangunan negaranya khususnya dari strategi perbaikan kondisi perekonomian, dipandang baik dalam mengatasi masalah kurangnya lapangan pekerjaan, kemiskinan, dan pengangguran (Damayanthi, 2008).

Pembangunan industri pada sektor usaha bidang pertambangan batubara adalah suatu upaya pemerintah dalam meningkatkan perekonomian negara dan bila ditinjau dari segi pola kehidupan masyarakat sangat berhubungan langsung dengan peningkatan kebutuhan barang dan jasa, pemakaian sumber-sumber energi, dan sumber daya alam. Penggunaan sumber daya alam secara besar-besaran tanpa mengabaikan lingkungan dapat mengakibatkan dampak negatif, salah satu aktifitas industri tersebut yaitu penambangan batubara yang berdampak pada kesehatan (Maryuningsih, 2015)

Penambangan batubara menunjukkan pencemaran di mulai dari pembukaan lahan, pengambilan batubara (eksploitasi), pengangkutan dan penyimpanan sementara (*stockpile*) serta ketika batubara tersebut dibakar sebagai sumber energy (Setiawan et al., 2018b)

Penggunaan lahan untuk kegiatan *stockpile* batubara berpotensi mempengaruhi kualitas lingkungan. Limbah cair yang berasal dari *run-off stockpile* dan *coal wetting* mengandung padatan tersuspensi dan sejumlah zat terlarut (Fitriyanti, 2015) berupa ion-ion logam yang dapat mencemari air dan tanah (Setiawan et al., 2018a). Limbah yang dihasilkan dari suatu proses produksi industri dan kegiatan domestik (rumah tangga) yang terdiri dari bahan kimia senyawa organik dan senyawa

anorganik. Limbah tersebut pada konsentrasi tertentu berdampak negatif terhadap lingkungan, terutama bagi kesehatan manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan terhadap limbah. Tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan oleh limbah tergantung pada jenis dan karakteristik limbah (Marliani, 2014).

Teknologi pengolahan limbah cair yang sudah berkembang saat ini adalah elektrolisis, dengan proses elektrolisis menggunakan variasi tegangan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan terhadap beberapa parameter, yaitu kejernihan, massa endapan yang dihasilkan, tingkat keasaman (pH), TDS (*Total Dissolved Solvent*) (Nurajijah et al., 2014).

Berdasarkan uraian diatas, maka peneliti tertarik untuk mengkaji bagaimana penurunan ion-ion terlarut dari limbah air *stockpile* batubara akibat variasi lamanya waktu elektrolisis dan besarnya arus listrik yang digunakan.

### **Batubara dan Isu Lingkungan**

Indonesia mempunyai potensi energy yang besar berupa batubara, yang tersebar di pulau Sumatera dan Kalimantan Hasan *et al.* (2012). Kebutuhan energi merupakan kebutuhan yang esensial dalam keberhasilan pembangunan dibidang ekonomi (Mamurekli, 2010). Permintaan batubara semakin lama semakin meningkat sebagai sumber energi pembangkit tenaga listrik dan kebutuhan untuk industri logam dan industri lainnya (Sahu et al., 2011). Negara-negara yang kebutuhannya besar dan efisien dapat dikatakan negara tersebut dalam kategori Negara maju.

Aktivitas manusia (*anthropogenic*) dalam hal penggunaan batubara ini menyebabkan terjadinya pencemaran di lingkungan perairan. Pencemaran tersebut dapat terjadi mulai dari saat penambangan, pengangkutan, penyimpanan sementara (*stockpile*) dan saat penggunaan (Pan et al., 2012) serta pada saat batubara tersebut dibakar sebagai sumber energy listrik yang melepaskan zat-zat pencemar ke lingkungan (Mandal and Sengupta, 2006). Fenomena pencemaran juga terlihat adanya fenomena kebakaran batubara di *stockpile* tersebut. Sensogut and Ozdeniz (2005) mengemukakan ada beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya kebakaran secara spontan di *stockpile* tersebut, diantaranya temperature lingkungan.

Aktivitas penambangan batubara berdampak signifikan terhadap lahan, hilangnya keanekaragaman hayati, penurunan kualitas lahan pertanian, penurunan kualitas dan ketersediaan air, pencemaran udara berupa debu selama proses penambangan, pengumpulan, pengangkutan serta limbah padat berupa bahan organik dan mineral tanah, Dampak dihasilkannya air asam tambang dan logam-logam berat yang terbawa oleh aliran air, sehingga memperbesar biaya pengolahan air. Masuknya air asam tambang dan logam-logam berat ini yang pada akhirnya berdampak pada lingkungan perairan. Peristiwa tersebut berjalan terus menerus mengakibatkan terakumulasi semakin lama semakin meningkat (Black & Craw, 2001). Penggunaan batubara sebagai sumber energy perlu dipertimbangkan pemilihan teknologi yang ramah lingkungan agar tidak mengancam lingkungan air dan tanah (Skodras et al., 2006).

### **Unsur Penyusun Batubara**

Xu et al., (2004) dan Nalbandian (2012) mengemukakan bahwa unsur-unsur penyusun dari batubara dibagi menjadi 3 golongan, yaitu :

1. Unsur-unsur utama (*major elements*) yang terdiri dari carbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), sulfur (S) dengan konsentrasi > 1000 ppm
2. Unsur-unsur kecil (*Minor elements*) yang terdiri dari silikon (Si), Aluminium (Al), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), Natrium (Na), Besi (Fe), Mangan (Mn), Titanium (Ti). Unsur-unsur tersebut dengan konsentrasi < 1000 ppm.
3. Unsur-unsur runtu (*trace elements*) yang terdiri dari kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg), seng (Zn), tembaga (Cu), arsen (As), kobalt (Co), kromium (Cr), mangan (Mn), nikel (Ni), timah

putih (Sn), thalium (Ti) dan vanadium (V). dengan masa jenis yang besar  $4000 \text{ kg/m}^3$  dengan konsentrasi  $<100 \text{ ppm}$ . (Haluschak *et al.* 1998) Keberadaan unsur-unsur ungu dalam ini erat kaitannya dengan aktivitas manusia .

Unsur-unsur runtu merupakan suatu yang erat kaitannya dengan lingkungan, tumbuh-tumbuhan, hewan dan manusia. Unsur-unsur tersebut ada yang bersifat esensial dan ada juga yang tidak esensial serta dapat berupa racun bergantung dengan konsentrasi, jenis valensi, pH dan kondisi oksidasi dan reduksi serta factor lain (Swaine, 2000). Kandungan mineral dan senyawa anorganik berkontribusi besar terhadap kualitas batubara (Ward, 2002). Unsur-unsur terlarut di perairan membentuk on-ion terlarut.

Penelitian terkait tentang pencemaran unsur-unsur yang terandung dalam batubara diantaranya : Oliveira *et al.*, (2012) melaporkan kandungan unsur-unsur runtu/trace elements batubara yang berasal dari Santa Catarina Brazil diantaranya : Cr = 52,9 ppm, Mn = 121,9 ppm, Cu = 19,8 ppm, As = 13,9 ppm, Cd = tidak terdeteksi dan Pb 29,1 ppm. Nalbandian, (2012) mengemukakan bahwa nilai rata-rata unsur-unsur runtu (trace elements) dalam batubara untuk As, Cd, Hg, Pb, Cu dan Zn masing-masing 0,093; 2,69; 0,091; 7,0; 10,8 dan 12,7 mg/kg. Ladwani *et al.*, (2012) mengemukakan hasil penelitiannya tentang analisis kandungan logam berat pada tanah yang terkontaminasi oleh batubara. Hasil menunjukkan kandungan logam berat Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb dan Cr pada tanah masing-masing 1411,7; 199,3; 175,8; 82,6; 84,1; 48,6; 22,0 dan 2,4 mg/kg.

### **Pengolahan Limbah dengan Elektrolisis**

Elektrokimia adalah peristiwa kimia yang berhubungan dengan energi listrik. Prinsip dasar reaksi pada elektrokimia adalah reaksi reduksi pada kutub katoda dan oksidasi kutub anoda. Sel elektrokimia ada 2 yaitu sel galvanis dan sel elektrolisis. Sel galvanis merupakan sel elektrokimia, dimana reaksi kimia menghasilkan listrik, sedangkan sel elektrolisis adalah listrik menghasilkan reaksi kimia (Goldberg, 2005). Elektroda karbon, seperti grafit, karbon teraktivasi dan karbon glas sudah banyak digunakan yang dihubungkan dengan pengumpul arus secara kontak langsung dengan pemisah dan elektrolit. beberapa cara telah dilakukan untuk meningkatkan kontak antara pengumpul arus dan elektroda (Barnawi *et al.*, 2013).

Elektrolisis telah lama dipelajari, hanya secara spesifik untuk mencapai efisiensi terkait dengan penelitian lebih lanjut tersebut yaitu bervariasi jenis elektrolit, konsentrasi elektrolit, jenis elektroda dan modifikasinya, serta pemanfaatan katalis yang memungkinkan tercapainya efisiensi yang relatif tinggi (Supiah, 2010). Penggunaan sel elektrolisis untuk pengolahan limbah telah dimulai tahun 1950, namun penggunaannya secara profesional baru dimulai semenjak beberapa tahun terakhir ini, terutama setelah ditemukannya beberapa bahan elektrode, bahan membran serta inovasi-inovasi metode teknik kimia. Sebagai contoh saat ini semakin banyak ditemukan bahan electrode yang mempunyai stabilitas kimia maupun fisika yang sangat tinggi, konduktivitas listrik yang tinggi, *non fouling*, elektrode potensial tinggi dan mempunyai tegangan lebih yang rendah, yang kesemuanya merupakan sifat-sifat yang baik terhadap efisiensi reaksi elektrolisisnya (Daryoko *et al.*, 2009). Keunggulan penggunaan metode elektrolisis ini, diantaranya bebas dari penambahan bahan kimia yang menyebabkan pencemaran baru dan efisiensi yang tinggi.

Kebutuhan air bersih mengalami peningkatan akibat penambahan jumlah penduduk, pengolahan air bersih sudah banyak dilakukan baik secara fisik, kimia maupun biologis. salah satu teknologi yang dapat digunakan adalah elektrokoagulasi. elektrokoagulasi adalah teknologi pengolahan air dengan menggunakan proses elektrokimia dimana anoda akan melepaskan koagulan aktif berupa ion Al atau Fe ke dalam larutan (Hudori & Soewondo, 2009).

Soemargono *et al.*, (2006) melaporkan bahwa pengolahan limbah rumah tangga dapat dilakukan dengan elektroflokulator. Hasil yang diperoleh yaitu penurunan COD, % T dan Total Solid (TS) dipengaruhi oleh tegangan listrik dan waktu proses dan hasil terbaik pada penelitian ini yaitu

penurunan COD sebesar 81,95%, Tingkat kejernihan (% T) 85,4% dan Total Solid (TS) 68,88% yang dilakukan dengan elektroda Al, waktu proses 135 menit dan tegangan listrik 15 volt. Rusdianasari et al. (2015) melaporkan hasil penelitian mengatasi pencemaran Fe dan Mn di air stockpile dengan metode elektrokoagulasi. Elektroda yang digunakan Al dengan arus listrik 1,3 sampai 3 Amper dengan tegangan listrik 12 Volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam Fe menurun sebesar 0,03 ppm pada waktu 90 menit, sedangkan Mn menurun 0,01 ppm.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu: derijen, elektroda aluminium, elektroda karbon, penjepit elektroda, kabel, beaker gelas (250 ml), gelas ukur (100 ml), *stopwatch*, *electrical conductivity* / alat ukur daya hantar listrik. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air limbah stockpile batubara, kertas saring dan alkohol, transformator 0,5, 1, dan 2 A ampere, diode perata, kapasitor, skring/fuse

### Metode Penelitian

Metode penelitian ini berupa survey dan eksperimen. Kegiatan survey berupa pengambilan sampel di stockpile Keramasan Keratapati Palembang (Gambar 2), sedangkan pengolahan limbah (elektrolisis) di Laboratorium Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas PGRI Palembang. Tahapam penelitian ini dilakukan secara ringkas ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Lokasi pengambilan sampel limbah *stockpile* Batubara (Sumber Google Maps, 2020)

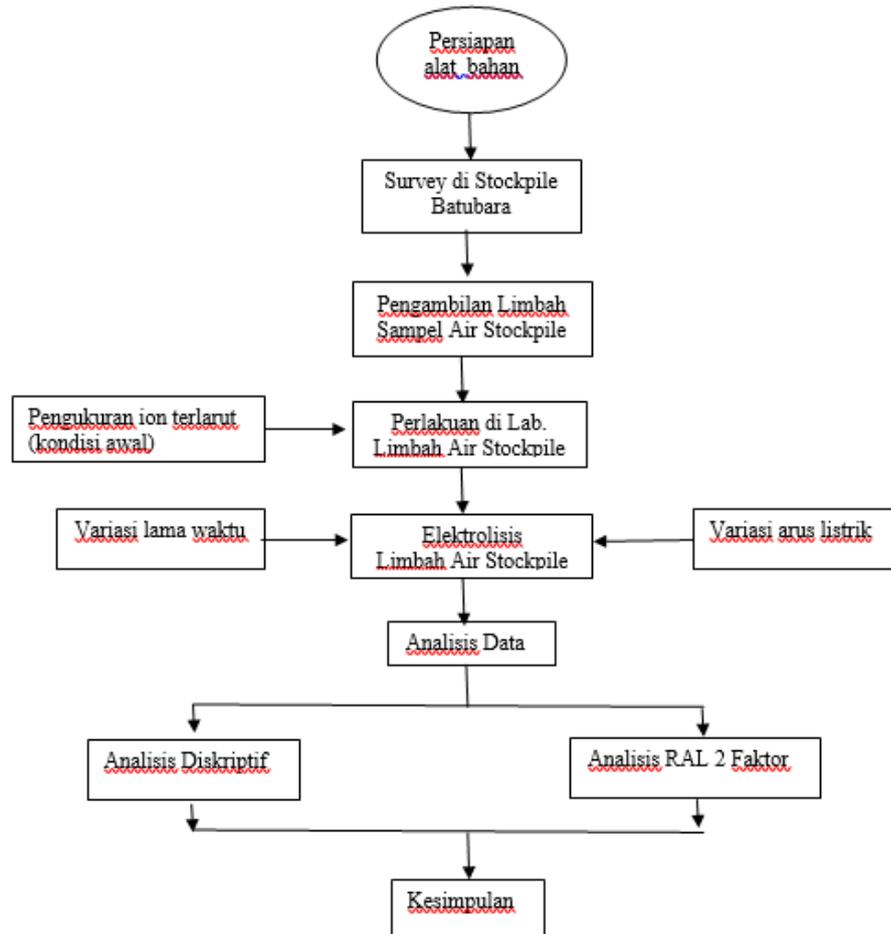
### Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 2 faktor. Faktor 1 arus listrik: 1, 2 dan 3 ampere dan factor 2 lamanya elektrolisis 15, 30, 45, 60 dan 70 menit (Tabel 1)

Tabel 1 Desain Penelitian RAL 2 Faktor

Arus Listrik	Waktu				
	T1	T2	T3	T4	T5
I1	I1T1	I1T2	I1T3	I1T4	I1T5
I2	I2T1	I2T2	I2T3	I2T4	I2T5
I3	I3T1	I3T2	I3T3	I3T4	I3T5

Keterangan: I1 = 1 A, I2 = 2 A dan I3 = 3 A serta T1=15 menit, T2=30 menit, T=45 menit, T4=60 menit dan T5=75 menit

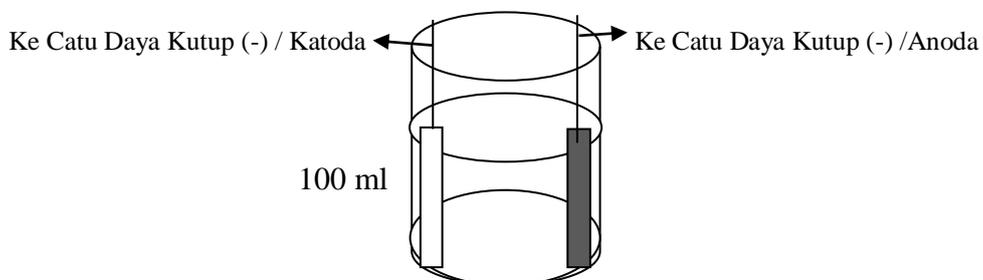


Gambar 3. Tahapan Pelaksanaan Penelitian.

### Cara kerja

Cara kerja elektrolisis ini sebagai berikut:

1. Air limbah di ambil sebanyak 100 ml, diukur ion-ion terlarut sebagai kondisi awal.
2. Air limbah tersebut di letakkan ke dalam beaker gelas 250 ml, kemudian masukkan elektroda karbon dan almunium ke dalam breaker gelas tersebut.
3. Elektroda karbon kutup (+) anoda dan elektroda almunium kutup (-) sebagai katoda.
4. Kedua elektroda lalu dihubungkan ke catu daya dari catu daya dengan tegangan 12 V (Gambar 3)



Gambar 3. Proses Elektrolisis

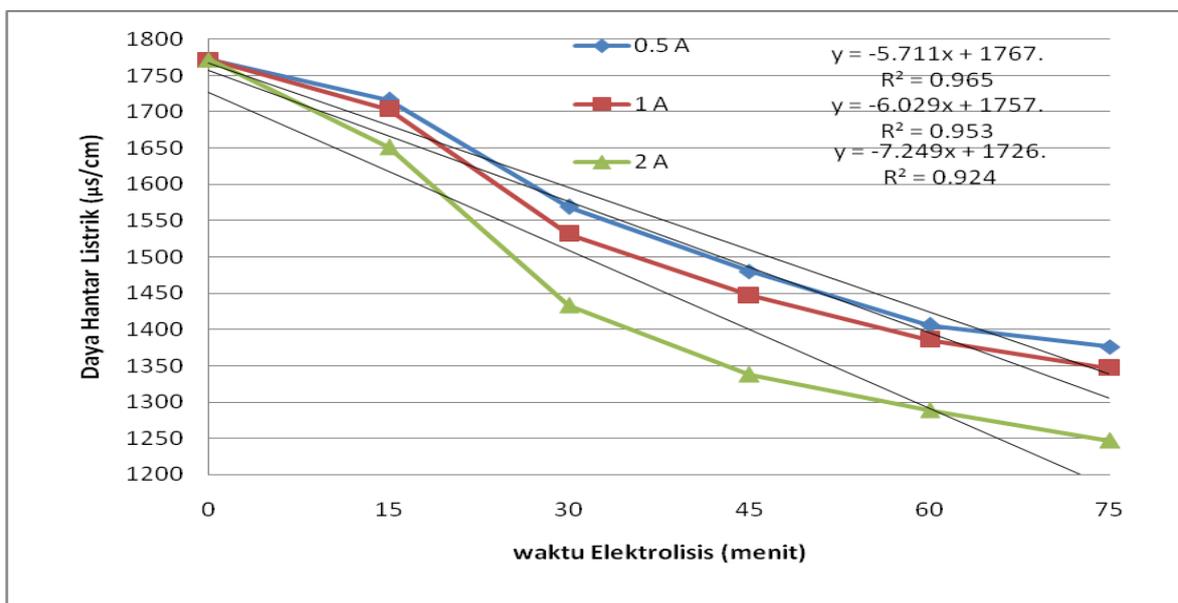
5. Hidupkan catu daya tersebut sesuai dengan berbagai variasi arus dan waktu, sesuai dengan rancangan percobaan (Tabel 1)
6. Hasil elektrolisis limbah *stockpile* dianalisis kandungan ion-ion terlarut dengan menggunakan *Electrical conductivity* (EC) (kondisi akhir)

### Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji F 2 faktor untuk melihat perbedaan masing-masing perlakuan, jika F hitung > F table maka perlakuan arus listrik dan lamanya waktu berpengaruh nyata terhadap penurunan EC, untuk melihat tingkat perbedaan masing-masing perlakuan di analisis dengan analisis Beda Nyata Terkecil (BNT).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perlakuan elektrolisis limbah *stockpile* batubara terhadap penurunan ion-ion terlarut dari limbah *stockpile* batubara dengan memvariasikan kuat arus dari 0,5 A, 1 A dan 2 A sedangkan lamanya waktu elektrolisis 15, 30, 45, 60 dan 75 menit. Hasil perlakuan elektrolisis tersebut didapatkan Gambar 3.



Gambar 3. Besarnya Penurunan Ion-ion Terlarut akibat dari variasi lamanya waktu elektrolisis dan besarnya arus listrik yang digunakan.

Gambar 3 terlihat bahwa semakin lama proses elektrolisis semakin menurun kandungan ion-ion terlarut yang ada pada *stockpile* batubara. Penurunan ini diakibatkan oleh semakin lama proses elektrolisis mengakibatkan semakin lama kontak ion-ion terlarut yang ada pada limbah *stockpile* batubara terhadap elektroda yang dialiri listrik tersebut. Ion-ion bermuatan positif akan bergerak menuju elektroda bermuatan negatif (katoda), begitu juga dengan ion-ion bermuatan negatif akan bergerak menuju elektroda bermuatan positif (anoda). Proses demikian menyebabkan semakin lama semakin berkurangnya ion-ion terlarut yang ada pada limbah *stockpile* batubara. Penelitian yang dilakukan sejalan dengan peneliti yang lain, Rusdianasari et al., (2015) melaporkan hasil penelitiannya dalam menurunkan ion Fe dan Mn yang ada pada limbah *stockpile* batubara dengan menggunakan arus listrik 1,5; 2 dan 2,5 A. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar arus listrik yang digunakan semakin banyak penurunan kandungan ion Fe dan Mn dari limbah *stockpile* batubara tersebut. Soemargono et al., (2006) melakukan elektrolisis dari limbah rumah tangga dengan menggunakan elektroda aluminium, menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya waktu elektrolisis menunjukkan penurunan COD, kejernihan dan TSS sebesar masing-masing 81,95%; 85,4% dan 68,88%. Afandi et al., (2017) meneliti limbah rumah tangga dengan menggunakan elektrolisis variasi lama waktu 1, 2 dan 3 jam dan tegangan listrik dengan parameter yang diamati BOD dan TSS. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin lama elektrolisis yaitu waktu 3 jam dengan tegangan listrik 15 volt menunjukkan semakin besar penurunan BOD dan COD

masing-masing sebesar 89,64% dan 90%. Gambar 1. juga terlihat bahwa terdapat hubungan yang sangat kuat antara lamanya waktu elektrolisis dan kuat arus listrik terhadap penurunan ion-ion terlarut. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien korelasi  $R^2 > 0,9$ , ini artinya semakin lama waktu elektrolisis dan semakin besar arus listrik yang digunakan, maka semakin banyak pula ion-ion terlarut yang terelektrolisis. Ion-ion yang bermuatan negatif pada sampel limbah akan menuju kutup positif (anoda), sedangkan ion-ion bermuatan positif akan menuju ke kutup negatif (katoda).

Analisis sidik ragam (uji F) 2 faktor digunakan untuk melihat perbedaan perlakuan lamanya elektrolisis dan besarnya arus listrik yang digunakan terhadap penurunan ion-ion terlarut. analisis sidik ragam uji F dengan menggunakan program SPSS, didapatkan data Tabel 2, 3 dan 4

**Tabel 2. Banyaknya Data yang diInputkan**

		N
I	1	15
	2	15
	3	15
T	1	9
	2	9
	3	9
	4	9
	5	9

Keterangan:

Arus Listrik (I) untuk 1 (0,5A), 2 (1 A) dan 3 (2 A). Waktu elektrolisis (T) untuk (15 menit), (30 menit), (45 menit), (60 menit) dan (75 menit)

Tabel 2 tersebut terlihat bahwa arus listrik yang digunakan (I) untuk arus 0,5 A; 1 A; dan 2 A masing-masing banyak data yang diinputkan adalah 15 data, sedangkan banyaknya data untuk waktu perlakuan 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit dan 75 menit masing-masing sebanyak 9 data perlakuan terhadap penurunan ion-ion terlarut dilakukan analisis uji F dua faktorial didapatkan data Table 3.

**Tabel 3. Analisis Sidik Ragam Uji F**

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sign
Corrected Model	696267,244a	14	49733,375	2,687	0,011
Intercept	100372907,756	1	100372907,756	5422,260	0,000
Arus	5962,711	2	2981,356	0,161	0,852
Waktu	687962,800	4	171990,700	9,291	0,000
Arus * Waktu	2341,733	8	292,717	0,16	1,000
Error	555338,000	30	18511,267		
Total	101624513,000	45			
Corrected Total	1251605,244	44			

Tabel 3 terlihat bahwa perlakuan arus listrik nilai F yang didapatkan 0,161 dengan nilai sig ( Signifikan ) 0,852 > 5%, artinya perlakuan arus listrik menunjukkan perbedaan yang tidak nyata dalam penurunan ion-ion terlarut. Perlakuan waktu menunjukkan nilai F hitung 9,291 dan nilai sig (signifikan) 0,000 < 5%, artinya perlakuan waktu menunjukkan penurunan ion-ion terlarut secara signifikan. Tabel 3 juga terlihat bahwa intereaksi antara arus dan waktu didapatkan nilai F nya 0,016 dengan nilai signifikan (sig.) 1,00 > 5%. Hal ini artinya interaksi antara arus listrik dan waktu elektrolisis tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dalam penurunan ion-ion terlarut, untuk melihat tingkat perbedaan antar perlakuan waktu dilakukan analisis Beda Nyata Terkecil (BNT), didapatkan Tabel 4.

**Tabel 4. Analisis Beda Nyata Terkecil (BNT) Antar Waktu Perlakuan**

(I) T	(J) T	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	152,44*	64,137	0,024	21,46	283,43
	3	240,11*	64,137	0,001	109,12	371,10
	4	303,67*	64,137	0,000	172,68	434,65
	5	349,11*	64,137	0,000	218,12	480,10
2	1	-152,44*	64,137	0,024	-283,43	-21,46
	3	87,67*	64,137	0,182	-43,32	218,65
	4	151,22*	64,137	0,025	20,24	22,21
	5	196,67*	64,137	0,005	65,68	327,5
3	1	-240,11*	64,137	0,001	-317,10	-109,12
	2	-87,67	64,137	0,182	-218,65	43,32
	4	63,56	64,137	0,330	-67,43	194,54
	5	109,00	64,137	0,100	-21,99	239,99
4	1	-303,67*	64,137	0,000	-434,65	-172,68
	2	-151,22*	64,137	0,025	-282,21	-20,24
	3	-63,56	64,137	0,330	-194,54	67,43
	5	45,44	64,137	0,484	-85,54	176,43
5	1	-349,11*	64,137	0,000	-480,10	-218,12
	2	-196,67*	64,137	0,005	-327,65	-65,68
	3	-109,00	64,137	0,100	-239,99	21,99
	4	-45,44	64,137	0,484	-176,43	85,54

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 18511,267.

\*. The mean difference is significant at the 0,05 level.

Tabel 4 terlihat bahwa perlakuan antar waktu 1 (15 menit) dibandingkan perlakuan 2 (30 menit), 3 (45 menit), 4 (60 menit) dan 5 (75 menit) menunjukkan perbedaan nyata, ini ditunjukkan dengan tanda \*. Perlakuan 3 terhadap 2, 4 dan 5 menunjukkan perbedaan yang tidak nyata (tidak ada tanda \*), begitu juga perlakuan 4 terhadap 3 dan 5 serta perlakuan 5 terhadap 3 dan 4 juga menunjukkan perbedaan yang tidak nyata.

## KESIMPULAN

Penurunan ion-ion terlarut dari limbah air stockpile batubara menggunakan metode elektrolisis dengan elektroda karbon (anoda) dan aluminium (katoda) menunjukkan bahwa semakin lama waktu elektrolisis 15, 30, 45, 60 dan 75 menit menunjukkan penurunan yang signifikan (sig. <5%). Perlakuan arus listrik (0,5; 1 dan 2 A) dan intereaksi dengan waktu elektrolisis tidak menunjukkan penurunan yang signifikan (sig.>5%).

## DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A. M., Rijal, I., & Aziz, T. (2017). Pengaruh Waktu Dan Tegangan Listrik Terhadap Limbah Cair Rumah Tangga Dengan Metode Elektrolisis. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(2), 114–119.  
<http://ejournal.ft.unsri.ac.id/index.php/jtk/article/view/49/40>
- Barnawi, I. I., Taer, E., & Umar, A. A. (2013). Efek Penumbuhan Nanopartikel Platinum pada Elektroda Karbon terhadap Prestasi Superkapasitor. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*, 11(1), 1–5.
- Black, A., & Craw, D. (2001). *Arsenic, copper and zinc occurrence at the Wangaloa coal mine, southeast Otago, New Zealand. International Journal of Coal Geology*, 45, 181–193.

- Damayanthi, V. R. (2008). Proses Industrialisasi Di Indonesia Dalam Prespektif Ekonomi Politik. *Journal of Indonesian Applied Economics*, 2(1), 1–2008.  
<https://doi.org/10.21776/ub.jiae.2008.002.01.3>
- Daryoko, M., Sutoto, S., Heriyanto, K., & Suwardiyono, S. (2009). Elektrolisis Berkapasitas Satu Liter. Seminar Nasional V SDM Nuklir, November, 619–624.
- Fitriyanti, R. (2015). Kajian Instalasi Pengolahan Limbah Cair Stockpile Batubara. *Berkala Teknik*, 5(2), 864. <https://jurnal.um-palembang.ac.id/berkalateknik/article/view/366>
- Goldberg, D. E. (2005). *Shaum's Outlines Beginning Chemistry. In Textbook of Medical Physiology. McGRAW-HILL.*
- Haluschak, P. W., Mills, G. F., Section, S. R., Branch, C., Agriculture, M., Eilers, R. G., Grift, S., Unit, L. R., & Canada, A. (1998). *Status of Selected Trace Elements in Agricultural Soils of Southern Manitoba. In Agriculture.*
- Hasan, M. H., Mahlia, T. M. I., & Nur, H. (2012). *A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2316–2328.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.007>
- Hudori, H., & Soewondo, P. (2009). Pengolahan Deterjen Menggunakan Teknologi Elektrokoagulasi dengan Elektroda Aluminium. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 1(2), 117–125.  
<https://doi.org/10.20885/jstl.vol1.iss2.art3>
- Ladwani, K. D., Ladwani, K. D., Manik, V. S., & Ramteke, D. p. (2012). *Assesment of Heavy Metal Contaminated Soil Near Coal Mining Area in Gujarat by Toxicity Charecteristics Leaching Procedure. International Journal of Life Science Biotechnology and Pharma Research*, 1(4), 73–80.
- Mamurekli, D. (2010). *Environmental impacts of coal mining and coal utilization in the UK. Acta Montanistica Slovaca Ročník*, 15, 134–144.
- Mandal, A., Sengupta, D. (2006). *An assessment of soil contamination due to heavy metals around a coal-fired thermal power plant in India. Environ Geol* 51, 409–420
- Marliani, N. (2014). Pemanfaatan Limbah Rumah Tangga ( Sampah Anorganik ) Sebagai Bentuk Implementasi. *Formatif*, 4(2), 124–132.
- Maryuningsih, Y. (2015). Analisis Dampak Industri Stockpile Batu Bara Terhadap Lingkungan Dan Tingkat Kesehatan. *Scientiae Educatia*, 5(2).
- Nalbandian, H. (2012). *Trace element emissions from coal.*
- Nurajijah, L., Harjunowibowo, D., & Radiyono, Y. (2014). Pengaruh Variasi Tegangan pada Pengolahan Limbah Cair Laundry Menggunakan Proses Elektrolisis. *Jurnal Materi Dan Pembelajaran Fisika (JMPF)*, 4(1), 31–35.
- Oliveira, M. L. S., Ward, C. R., French, D., Hower, J. C., Querol, X., & Silva, L. F. O. (2012). *Mineralogy and leaching characteristics of bene fi ciated coal products from Santa. International Journal of Coal Geology*, 94, 314–325. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2011.10.004>
- Pan, L., Liu, P., Ma, L., & Li, Z. (2012). *A supply chain based assessment of water issues in the coal industry in China. Energy Policy*, 48, 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.063>
- Rusdianasari, R., Meidinariasty, A., & Purnamasari, I. (2015). *Level Decreasing Kinetics Model of Heavy Metal Contents in The Coal Stockpile Wastewater with Electrocoagulation. International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 5(6), 387–391.
- Sahu, H. B., Dash, S., & Swar, A. K. (2011). *Environmental Impact of Coal Beneficiation and its Mitigation Measures.pdf. Indian J. Environmental Protection*, 31(8), 691–698.
- Setiawan, A. A., Budianta, D., Suheryanto, & Priadi, D. P. (2018a). *Contents of Heavy Metal in Soil and Water at Stockpile Coal (Case Study Kertapati Palembang City Indonesian). Pollution Research*, 37(2), 301–306.
- Setiawan, A. A., Budianta, D., Suheryanto, & Priadi, D. P. (2018b). *Review : Pollution due to Coal*

- Mining Activity and its Impact on Environment. Sriwijaya Journal of Environment, 3(November 2017), 1–5. <https://doi.org/10.22135/sje.2018.3.1.1-5>*
- Skodras, G., Prokopidou, M., & Sakellaropoulos, G. P. (2006). *Leaching and Toxicity Behavior of Coal – Biomass Waste Cocombustion Ashes. Environmental Toxicology, 317–323.*  
<https://doi.org/10.1002/tox>
- Soemargono, S., Ismiati, E., & Lazuardi, L. (2006). Pengolahan Limbah Rumah Tangga Dengan Proses Elektrolfokulator Secara “ Batch .” *Rekayasa Perencanaan, 3(1).*
- Supiah, I. (2010). Perilaku sel elektrolisis air dengan elektroda stainless steel. *Prosiding Seminar Nasional Kimia Dan Pendidikan Kimia, 03(02), 1–9.*
- Swaine, D. J. (2000). *Why trace elements are important. Fuel Processing Technology, 65–66, 21–33.*
- Ward, C. R. (2002). *Analysis and significance of mineral matter in coal seams. International Journal of Coal Geology, 50, 135–168.*
- Xu, M., Yan, R., Zheng, C., Qiao, Y., Han, J., & Sheng, C. (2004). *Status of trace element emission in a coal combustion process: A review. Fuel Processing Technology, 85(2–3), 215–237.*  
[https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(03\)00174-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(03)00174-7)