

## UNJUK KERJA NaOH DALAM MEREDUKSI LOGAM BERAT PADA LIMBAH ABU BOILER

Maria Peratenta Sembiring<sup>1,\*</sup>, Rozanna Sri Irianty<sup>1</sup>, Zulfansyah<sup>1</sup>, Chairul<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau

\*Corresponding author : [maria.peratenta@lecturer.unri.ac.id](mailto:maria.peratenta@lecturer.unri.ac.id)

*Abstract* : The coal combustion process produced emissions in the form of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, volatile hydrocarbon (VHC), suspended particulate matter (SPM), and solid residue in the form of boiler ash. Boiler ash contained various toxic heavy metals, including copper (Cu), cobalt (Co), chromium (Cr), cadmium (Cd) and lead (Pb). This study aimed to determine the reduction efficiency of Cu, Co, Cr, Pb, and total heavy metals by extracting using NaOH chemical solvent and converting transition metals into complexes with ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) at EDTA: boiler ash ratios of 1:2, 1:1, 2:1; stirring durations of 2 and 4 h; and extraction temperatures of 25 and 60 °C. Inductively Coupled Plasma (ICP) analyses were conducted to determine the reduction in heavy metal content of the boiler ash extract. The results showed that the extraction conditions in the form of EDTA: boiler ash ratio of 2:1, stirring duration of 4 h, and extraction temperature of 60 °C could produce the highest percentage of total heavy metal content reduction which reached 77.2% with a percentage reduction in Co, Cr, Cu, and Pb levels of 75.4%, 77.9%, 74.5%, and 81.9%, respectively. This research was expected to be a recommendation for further research in exploring the potential utilization of boiler ash, such as as an asphalt mixture material, brick making, and other uses.

*Keywords* : extraction temperature, ratio EDTA: boiler ash, reduction efficiency, stirring duration.

**Abstrak** : Proses pembakaran batu bara menghasilkan emisi berupa gas SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, volatile hydrocarbon (VHC), suspended particulate matter (SPM), serta residu padat berupa abu boiler. Abu boiler mengandung berbagai logam berat beracun, diantaranya tembaga (Cu), kobalt (Co), kromium (Cr), cadmium (Cd) dan timbal (Pb). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efisiensi reduksi logam berat Cu, Co, Cr, Pb, dan total dengan melakukan ekstraksi menggunakan pelarut kimia NaOH dan mengubah logam transisi menjadi kompleks dengan *Ethylene diamine tetraacetic acid* (EDTA) pada rasio EDTA: abu boiler sebesar 1:2, 1:1, 2:1; durasi pengadukan sebesar 2 dan 4 jam; serta suhu ekstraksi sebesar 25 dan 60 °C. Analisis *Inductively Coupled Plasma* (ICP) dilakukan untuk mengetahui penurunan kadar logam berat dari ekstrak abu boiler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi ekstraksi berupa rasio EDTA: abu boiler sebesar 2:1, durasi pengadukan sebesar 4 jam, dan suhu ekstraksi sebesar 60 °C dapat menghasilkan persentase penurunan kadar logam berat total tertinggi yang mencapai 77,2% dengan persentase penurunan kadar Co, Cr, Cu, dan Pb secara berturut-turut sebesar 75,4%, 77,9%, 74,5%, dan 81,9%. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rekomendasi bagi penelitian selanjutnya dalam mengeksplor potensi pemanfaatan abu boiler yaitu sebagai bahan campuran aspal, pembuatan batako, dan sebagainya.

**Kata Kunci** : durasi pengadukan, efisiensi reduksi, rasio EDTA: abu boiler, suhu ekstraksi

### 1. PENDAHULUAN

Batu bara masih menjadi pilihan utama sebagai sumber energi yang menggerakkan berbagai kegiatan sektor

industri, termasuk industri *pulp* dan kertas. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Mineral dan Batu Bara (2021), jumlah total batu bara yang digunakan untuk menunjang kegiatan industri kertas

mencapai 2 juta ton pada tahun 2020. Dominasi batu bara pada proses industri disebabkan karena ketersediaan batu bara yang melimpah serta harganya yang kompetitif. Tingkat kebutuhan batu bara nasional setiap tahunnya diperkirakan akan meningkat seiring dengan penurunan ketersediaan batu bara, sampai ke suatu titik saat negara telah berhasil menerapkan transisi menuju energi terbarukan secara dominan.

Batu bara pada industri *pulp* dan kertas dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada unit *boiler*. Sebagai bahan bakar, batu bara digunakan untuk membangkitkan uap air (*steam*) untuk dapat menggerakkan turbin uap dan menghasilkan energi listrik (Sagaf & Alim, 2018). Selain menghasilkan *output* berupa energi panas dan energi listrik, pembakaran batu bara juga menghasilkan berbagai senyawa yang bersifat polutan dan dapat membahayakan kesehatan manusia serta mencemari lingkungan (Sabubu, 2020). Proses pembakaran batu bara menghasilkan emisi berupa gas  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ , *volatile hydrocarbon* (VHC), *suspended particulate matter* (SPM), serta residu padat berupa abu *boiler*.

Teknik pengolahan abu *boiler* yang paling konvensional dilakukan oleh industri adalah pembuangan pada fasilitas *landfill*. Namun, hal ini dapat meningkatkan risiko pencemaran tanah, akuifer, dan air tanah yang disebabkan oleh kontaminasi logam berat (Sembiring et al., 2018). Abu *boiler* berpotensi diolah menjadi material baru yang bernilai ekonomis, diantaranya dimanfaatkan dalam industri keramik, industri semen, sebagai bahan aditif beton, bahan konstruksi untuk pembuatan jalan, serta bahan pembenah tanah dalam bidang agrikultur (Czech et al., 2020). Pemanfaatan abu *boiler* dalam berbagai bidang dapat dilakukan apabila kadar logam berat yang terkandung di dalamnya direduksi

hingga memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Berbagai metode ekstraksi dapat dilakukan untuk mereduksi kadar logam berat yang dikandung abu *boiler*, salah satunya yaitu ekstraksi padat cair menggunakan kombinasi pelarut NaOH dan agen khelasi berupa EDTA.

Penelitian Rattanasak & Chindaprasirt (2009) menggunakan pelarut natrium hidroksida (NaOH) untuk mengekstraksi  $Al_2O_3$  dan  $SiO_2$  dari abu *boiler*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelarutan abu *boiler* bergantung pada konsentrasi NaOH dan lama pencampuran, dengan formulasi optimum, yaitu 10 M NaOH dan 2 jam pencampuran. Penelitian Utama et al. (2013) meneliti tentang pengaruh suhu dan waktu pada ekstraksi silika dari abu *boiler* batu bara. Kondisi ekstraksi berupa suhu  $105\text{ }^\circ\text{C}$  dan waktu 4 jam memberikan konversi silika optimum sebesar 3,08%. Penelitian sebelumnya telah meneliti pemanfaatan EDTA dalam mereduksi kadar logam transisi pada abu *boiler* yang dikombinasikan dengan pelarut organik termasuk diklorometana, etanol dan n-heksana. Hasil penelitian menunjukkan pengurangan logam transisi berkisar antara 50 - 85%, 48 - 87%, 54 - 89%, 46 - 84%, 50 - 89%, 98 - 99%, 92 - 97%, untuk Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni dan Zn, dan disimpulkan bahwa penggunaan EDTA mampu meningkatkan reduksi logam berat (Sembiring et al., 2020).

Penelitian ini dilakukan untuk mengkonfirmasi keefektifan penggunaan EDTA dalam mengkhelat logam berat sehingga dapat digunakan dalam upaya reduksi logam berat dari abu *boiler* pabrik *pulp* dan kertas. Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti melakukan penelitian ekstraksi abu *boiler* menggunakan NaOH dan kolektor EDTA, dengan variasi pemanasan, variasi waktu *shaking* 2 jam dan 4 jam, serta variasi rasio EDTA: abu *boiler* 1:1, 1:2, dan 2:1.

## 2 METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat – alat sebagai berikut: neraca analitik, gelas ukur, *shaker* laboratorium, labu erlenmeyer, *hot plate*, *stopwatch*, corong pisah, kertas saring, tabung *falcon*, *centrifuge*, cawan petri, *oven*, botol kecil, dan alat ICP. Sementara itu, bahan-bahan yang digunakan antara lain: abu *boiler*, akuades, natrium hidroksida (NaOH), dan *ethylenediaminetetraacetic acid* (EDTA).

### Prosedur Penelitian

#### Ekstraksi Logam Berat dari Abu Boiler

Abu *boiler* diambil kemudian direndam dengan 50 mL NaOH 1M selama 24 jam. Campuran dikocok pada alat *shaker* selama 30 menit. Kolektor EDTA ditambahkan ke dalam erlenmeyer sesuai rasio. Campuran ekstraksi dipanaskan selama 15 menit pada suhu 60 °C, lalu dikocok pada alat *shaker* selama 2 atau 4 jam, lalu didiamkan selama 24 jam.

#### Pemisahan dan Pemurnian Ekstrak Logam Berat

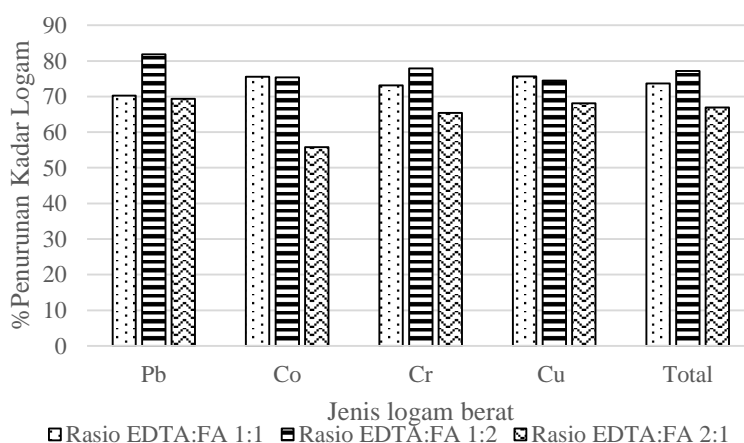
Campuran ekstraksi dimasukkan ke

dalam tabung *falcon* untuk disentrifugasi selama 5 menit pada kecepatan 2500 rpm. *Sludge* diambil dan diletakkan pada cawan petri untuk dikeringkan pada suhu 100 °C selama 2 jam. *Sludge* kering dimasukkan ke dalam botol kecil untuk dianalisis kadar logam berat yang tersisa.

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Rasio Massa EDTA dan Abu boiler Terhadap Reduksi Logam Berat Total, Pb, Co, Cr, dan Cu

Uji ICP-OES dilakukan untuk menentukan kadar awal dan kadar akhir dari logam berat Pb, Co, Cr, dan Cu yang terkandung pada ekstrak abu *boiler*. Panjang gelombang yang digunakan untuk mendeteksi kehadiran logam berat Pb, Co, Cr, dan Cu secara berturut-turut adalah 220.353 nm, 228.616 nm, 267.716 nm, 327.396 nm. Kadar awal dari sampel abu *boiler* (blanko) berdasarkan uji ICP-OES diperoleh sebesar 24,2 mg Co/kg abu *boiler*, 90,3 mg Cu/kg abu *boiler*, 153 mg Cr/kg abu *boiler*, dan 82 mg Pb/kg abu *boiler*. Pengaruh rasio massa EDTA: abu *boiler* terhadap reduksi logam berat total, Pb, Co, Cr, dan Cu ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan rasio EDTA: abu boiler terhadap % reduksi logam Pb, Co, Cr, Cu, dan total.

Titik-titik grafik yang diambil untuk menggambarkan pengaruh rasio EDTA: abu boiler pada Gambar 1 adalah titik pada variasi suhu dengan pemanasan sebesar 60 °C dan waktu *shaking* selama

4 jam. Pada variasi suhu dan waktu *shaking* tersebut, diperoleh tren persentase reduksi logam berat yang dapat dideskripsikan dengan jelas untuk seluruh jenis logam serta mengandung

data persentase reduksi logam berat total yang tertinggi. Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa rasio EDTA: abu boiler sebesar 1:2 merupakan rasio terbaik dalam menurunkan kadar logam berat Pb, Co, Cr, Cu, dan total, lalu diikuti dengan rasio EDTA: abu boiler sebesar 1:1 dan 2:1. Nilai penurunan kadar logam Pb, Co, Cr, Cu, dan total tertinggi pada rasio EDTA: abu boiler R 1:2 secara berturut-turut adalah 81,9%, 75,4%, 77,9%, 74,5%, dan 77,2% yang dicapai pada suhu 60 °C dan waktu *shaking* selama 4 jam.

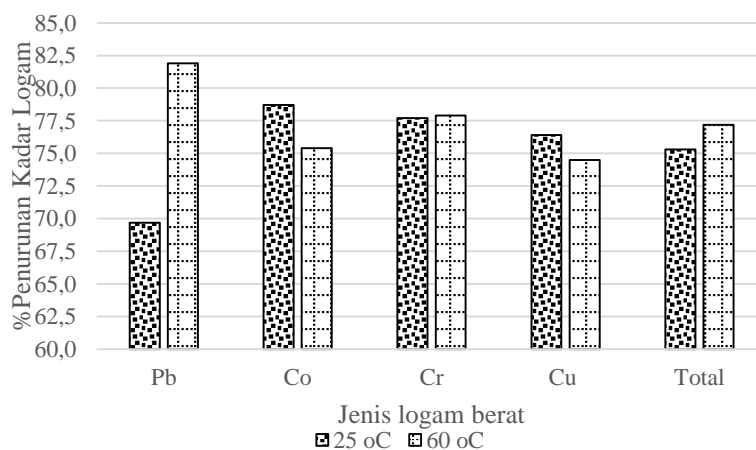
Tren yang diperoleh antara rasio EDTA: abu boiler dan persentase reduksi logam berat adalah saling berkorelasi negatif, yaitu semakin meningkatnya rasio EDTA: abu boiler maka semakin menurun pula persentase reduksi logam beratnya. Peningkatan rasio dari 1:2 menjadi 1:1 dan 2:1 akan memberikan dampak penurunan persentase reduksi logam berat sebesar 4,5-16,5% dan 13,3-61,4%. Secara konsep ilmiah, agen pengkhelat berfungsi untuk memfasilitasi terpisahnya logam berat dari campuran ekstraksi melalui pembentukan senyawa kompleks antara logam berat dengan EDTA dengan ikatan yang stabil, sehingga semestinya menghasilkan *output* penurunan kadar logam berat yang lebih besar (Meer & Nazir, 2018). Namun, tren sebaliknya yang diperoleh pada penelitian ini diduga karena khelasi EDTA ditentukan dari konsentrasi ion

hidrogen dan kekuatan ion dalam larutan NaOH-EDTA, di mana pada kondisi kealkalian yang tinggi dapat menekan khelasi logam berat oleh EDTA (Yin et al., 2017).

Di sisi lain, rasio 1:2 menunjukkan peningkatan massa abu boiler yang juga disertai dengan meningkatnya jumlah elemen logam berat yang terkandung di dalamnya. Hal ini menyebabkan jumlah ion logam berat yang tersedia untuk “diikat” atau “dikelat” oleh EDTA semakin banyak, sehingga reduksi logam berat yang terjadi semakin meningkat (Saleem et al., 2020). Selain itu, dapat diamati bahwa efisiensi penghilangan logam Pb dan Cr tertinggi diperoleh pada rasio 1:2, sementara efisiensi penghilangan logam Co dan Cu tertinggi diperoleh pada rasio 1:1. Menurut penelitian Kuboňová et al. (2017), logam berat Pb dan Cr bersifat amfoterik, sehingga ekstraksi logam tersebut dalam larutan alkali dapat lebih tinggi daripada logam berat lainnya yang mengalami penurunan kelarutan dalam pelarut yang bersifat alkali.

### **Pengaruh Temperatur Ekstraksi Terhadap Reduksi Logam Berat Total, Pb, Co, Cr, dan Cu**

Pengaruh temperatur ekstraksi terhadap reduksi logam berat total, Pb, Co, Cr, dan Cu ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan temperatur ekstraksi terhadap % reduksi logam Pb, Co, Cr, Cu, dan total.

Titik-titik grafik yang diambil untuk menggambarkan pengaruh temperatur ekstraksi pada Gambar 2 adalah titik pada variasi rasio EDTA: abu boiler sebesar 1:2 dan waktu *shaking* selama 4 jam. Pada variasi rasio dan waktu *shaking* tersebut, diperoleh data persentase reduksi logam berat total yang tertinggi yaitu sebesar 77,2%. Persentase reduksi logam berat total dengan penambahan suhu berada pada rentang 66,0-77,2%, sedangkan nilai persentase tanpa perlakuan pemanasan berada pada rentang 29-75,3% sehingga nilai peningkatan persentase reduksi logam berat total adalah sekitar 2,13-16,43%.

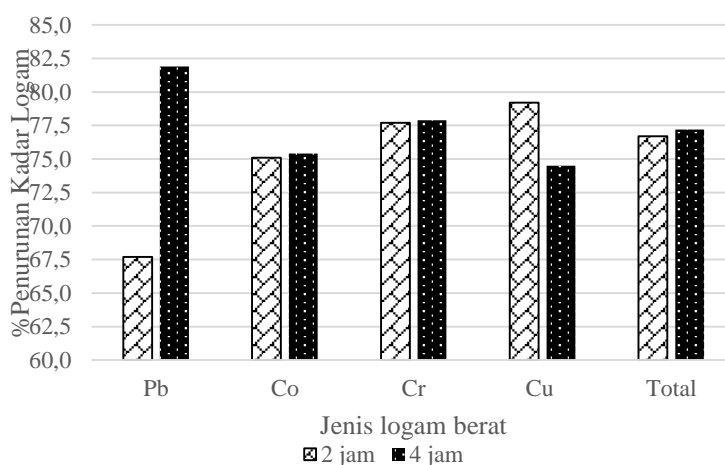
Kenaikan suhu dapat meningkatkan laju reaksi akibat peningkatan transfer masa reaktan, yang menandakan semakin banyak reaktan yang mampu melewati tingkatan energi yang dibutuhkan agar terjadi reaksi kimia (Munir, 2008). Selain itu, temperatur tinggi dapat meningkatkan kelarutan logam berat dan meningkatkan afinitas khelasi EDTA, khususnya untuk mengakomodasi pelarut ekstraksi yang bersifat alkali. Hal ini juga dapat menjelaskan tren peningkatan

reduksi logam berat yang lebih tinggi pada rasio EDTA yang lebih besar akibat pemberian perlakuan pemanasan (Yin et al., 2017; Leštan et al., 2008). Akan tetapi, perlu dipertimbangkan temperatur ekstraksi tidak boleh terlalu tinggi, karena pada suhu tinggi akan terbentuk kompleks kalsium silikat hidrat yang menghambat imobilisasi beberapa kompleks logam dengan EDTA, sehingga akan menurunkan kemampuan pembentukan senyawa kompleks serta penggunaan energi yang tidak efisien (Xiao et al., 2015).

Pada variasi rasio dan waktu *shaking* yang baik yaitu rasio 1:2 dan waktu 4 jam, diamati bahwa hanya logam Pb yang mengalami peningkatan persentase reduksi secara signifikan, dan sedikit peningkatan untuk logam Cr. Sementara itu, logam Co dan Cu mengalami penurunan persentase reduksi yang minim. Hal ini diduga akibat EDTA mengalami kejenuhan saat diberikan perlakuan pemanasan bahkan pada durasi *shaking* yang panjang, sehingga dapat menurunkan efisiensi reduksi dari logam Co dan Cu.

### **Pengaruh Waktu *Shaking* Terhadap Reduksi Logam Berat Total, Pb, Co, Cr, dan Cu**

Pengaruh waktu *shaking* terhadap reduksi logam berat total, Pb, Co, Cr, dan Cu ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan waktu *shaking* terhadap % reduksi logam Pb, Co, Cr, Cu, dan total.

Titik-titik grafik yang diambil untuk menggambarkan pengaruh waktu *shaking* pada Gambar 3 adalah titik pada variasi rasio EDTA: abu boiler sebesar 1:2 dan temperatur ekstraksi sebesar 60 °C. Pada variasi rasio dan temperatur tersebut, diperoleh data persentase reduksi logam berat total yang tertinggi serta mayoritas menggambarkan tren reduksi dari mayoritas logam berat secara jelas, di mana hanya logam Cu yang mengalami penurunan efisiensi penghilangan logam berat saat diperpanjang waktu pengadukan. Secara umum, korelasi positif diamati untuk menjelaskan hubungan antara waktu *shaking* dengan reduksi logam berat, yaitu peningkatan waktu *shaking* memfasilitasi terjadinya penurunan kadar logam berat yang lebih besar dengan nilai efisiensi penghilangan logam berat total sekitar 61,4-77,2%. Peningkatan persentase reduksi logam berat total akibat perpanjangan durasi pengadukan diperoleh sebesar 0,27-5,26%.

Waktu *shaking* yang semakin besar memberikan waktu kontak bagi abu boiler untuk berinteraksi dengan pelarut dan EDTA yang semakin lama. Efek dari

perpanjangan waktu ekstraksi mempengaruhi pelarutan ion logam, desorpsi atau pelarutan kembali senyawa kompleks, sehingga logam berat yang terekstrak akan semakin banyak (He et al., 2004). Berdasarkan grafik di atas, logam Pb mengalami peningkatan persentase reduksi secara signifikan dibandingkan logam lainnya saat mengalami pemanjangan waktu *shaking*, sementara logam Cr dan Co hanya mengalami peningkatan persentase reduksi yang relatif sedikit, dan sebaliknya pada logam Cu yang justru mengalami penurunan persentase reduksi. Pada rasio 1:2, kesetimbangan reaksi terjadi dalam waktu yang relatif cepat untuk logam Cu, yaitu sekitar 2 jam. Sedangkan saat waktu pengadukan 4 jam, logam Cu yang terekstraksi menurun. Hal ini menunjukkan pelarut EDTA yang mengalami kejenuhan dan terdeprotonisasi sebagian, sehingga gugus asam karboksil tidak dapat terionisasi secara sempurna yang menyebabkan pembentukan ikatan koordinasi antara EDTA dan ion Cu tidak sempurna (Aman, 2013; Styani et al., 2021).

Tabel 1. Analisis ICP-OES dari limbah abu boiler

Variabel bebas			Konsentrasi akhir [mg logam /kg sampel]			
Rasio EDTA: abu boiler	Temperatur (°C)	Waktu (jam)	Pb	Co	Cr	Cu
1:1	25	2	18,6	8,64	32,5	70,8
1:2	25	2	16,3	5,52	23,4	41,7
2:1	25	2	50,1	10,1	39,1	149
1:1	25	4	29,7	9,03	32,1	48,0
1:2	25	4	24,9	5,16	20,1	36,1
2:1	25	4	29,4	11,7	40,9	52,8
1:1	60	2	28,9	4,94	20,4	40,2
1:2	60	2	17,1	7,81	22,5	34,1
2:1	60	2	29,7	9,03	32,1	48,0
1:1	60	4	24,4	5,91	24,3	37,2
1:2	60	4	14,9	5,95	20,0	39,0
2:1	60	4	25,1	10,7	31,2	48,8

### **Analisis ICP-OES pada Proses Ekstraksi Logam Berat dari Limbah Abu Boiler**

*Inductively coupled plasma-optical emission spectrometry* (ICP-OES) merupakan jenis instrumen ICP yang memanfaatkan emisi cahaya (foton) yang dihasilkan secara spontan oleh atom dan ion yang telah tereksitasi. Larutan sampel diubah menjadi aerosol dan diarahkan menuju pusat saluran plasma yang bersuhu 10.000 K, sehingga aerosol menguap dengan cepat dan bergerak sebagai atom bebas di dalam fase gas (Hou et al., 2016). Terjadinya eksitasi lanjutan di dalam plasma memberikan energi tambahan untuk mengubah atom menjadi ion yang tereksitasi. Atom dan ion yang telah tereksitasi kemudian kembali kepada keadaan semula sambil menghasilkan emisi cahaya (foton) yang memiliki panjang gelombang yang berbeda-beda untuk jenis elemen yang berbeda-beda yang dikandung sampel. Jumlah total energi yang terdapat pada foton berbanding lurus dengan konsentrasi elemen di dalam sampel.

Analisis ICP digunakan untuk menentukan konsentrasi awal dan akhir dari logam berat Co, Cr, Cu, dan Pb pada abu *boiler* sebelum dan setelah dilakukan perlakuan ekstraksi (Tabel 1). Konsentrasi akhir dari logam berat yang semakin kecil menandakan penurunan kadar logam berat yang semakin besar.

Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi akhir dari logam Pb dan Cr yang terkecil terjadi pada kondisi ekstraksi berupa rasio EDTA: abu *boiler* 1;2, temperatur 60 °C, dan waktu *shaking* selama 4 jam. Ketiga kondisi ekstraksi tersebut menunjukkan rasio terkecil, temperatur terbesar, dan waktu *shaking* terbesar sebagaimana telah dijelaskan pada sub bagian sebelumnya. Sementara itu, kondisi terbaik untuk mereduksi logam Co dan Cu dicapai pada rasio EDTA yang lebih besar (1:1) dan durasi pengadukan yang

lebih kecil (2 jam). Hal ini diduga disebabkan oleh logam Co dan Cu yang sulit terlarut pada pelarut yang bersifat alkali, sehingga membutuhkan konsentrasi agen khelasi EDTA yang lebih besar untuk menstabilkan ikatan senyawa kompleks antara ion logam dan EDTA. Selain itu, karena rentannya senyawa kompleks Cu-EDTA dan Co-EDTA terdeprotonasi saat durasi pengadukan semakin lama (Meer & Nazir, 2018; Slamet & Karina, 2017).

### **4 KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai penurunan kadar logam Pb, Co, Cr, Cu, dan total tertinggi secara berturut-turut adalah 81,9%, 75,4%, 77,9%, 74,5%, dan 77,2% yang dicapai pada rasio EDTA: abu *boiler* sebesar 1:2, suhu 60 °C dan waktu *shaking* selama 4 jam. Parameter rasio memiliki efek negatif terbesar terhadap efisiensi reduksi logam berat, yaitu sekitar 13,3-61,4%, lalu dilanjutkan dengan efek positif dari suhu sekitar 2,13-16,43%, dan efek positif dari waktu *shaking* sekitar 0,27-5,26%. Perlunya kajian mendalam untuk menentukan titik optimum dari ketiga parameter ekstraksi, yang dapat dilakukan dengan metode *response surface methodology* agar tercapai tingkat efisiensi *input* dan maksimalisasi *output*.

## **5. DAFTAR PUSTAKA**

- Czech, T., Marchewicz, A., Sobczyk, A. T., Krupa, A., Jaworek, A., & Rosiak, D. (2020). Heavy metals partitioning in fly ashes between various stages of electrostatic precipitator after combustion of different types of coal. *Process Safety and Environmental Protection*, 133, 18-31.
- He, P. J., Zhang, H., Zhang, C. G., & Lee, D. J. (2004). Characteristics of air pollution control residues of MSW incineration plant in Shanghai. *Journal of hazardous materials*, 116(3), 229-237.
- Hou, L., Raveggi, M., Chen, X. B., Xu, W., Laws, K. J., Wei, Y., ... & Birbilis, N. (2016). Investigating the passivity and dissolution of a corrosion resistant Mg-33at.% Li alloy in aqueous chloride using online ICP-MS. *Journal of The Electrochemical Society*, 163(6), C324.
- Kuboňová, L., Langová, Š., Nowak, B., & Winter, F. (2013). Thermal and hydrometallurgical recovery methods of heavy metals from municipal solid waste fly ash. *Waste Management*, 33(11), 2322-2327.
- Leštan, D., Luo, C. L., & Li, X. D. (2008). The use of chelating agents in the remediation of metal-contaminated soils: a review. *Environmental pollution*, 153(1), 3-13.
- Meer, I., & Nazir, R. (2018). Removal techniques for heavy metals from abu boiler. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20, 703-722.
- Munir, M. (2008). *Pemanfaatan abu batubara (fly ash) untuk hollow block yang bermutu dan aman bagi lingkungan* (Doctoral dissertation, program Pascasarjana Universitas Diponegoro).
- Rattanasak, U., & Chindaprasirt, P. (2009). Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer. *Minerals Engineering*, 22(12), 1073-1078.
- Sabubu, T. A. W. (2020). Pengaturan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara Di Indonesia Prespektif Hak Atas Lingkungan Yang Baik Dan Sehat. *Lex Renaissance*, 5(1), 72-90.
- Sagaf, M. (2018). Analisa faktor-faktor penyebab perubahan efisiensi boiler jenis pulverized coal fired forced circulation sub-critical pressure menggunakan metode tak langsung. *Teknoin*, 24(2), 147-158.
- Saleem, M. H., Ali, S., Kamran, M., Iqbal, N., Azeem, M., Tariq Javed, M., ... & M. Abdel-Daim, M. (2020). Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) mitigates the toxic effect of excessive copper concentrations on growth, gaseous exchange and chloroplast ultrastructure of *Corchorus capsularis* L. and improves copper accumulation capabilities. *Plants*, 9(6), 756.
- Sembiring, M. P., Kaban, J., Bangun, N., & Saputra, E. (2018, April). Lauryl Amine as heavy metal collector of boiler ash from pulp and paper mill waste. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 345, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
- Sembiring, M. P., Kaban, J., Bangun, N., & Saputra, E. (2020). Edta utilization for reduction of transition metal content on boiler ash from pulp and paper mill waste.
- Slamet & Karina K. I. (2017). Utilization of abu boiler waste for handling ammonia liquid waste. *Journal of Chemistry and Packaging*, 5(2), 12-19.
- Styani, H. D., Slamet, S., & Wirasti, W. (2021, May). Aktivitas Antiinflamasi Partisi Metanol, Etil Asetat, n-Heksan Daun Putri Malu (*Mimosa pudica* linn). In *Prosiding University Research Colloquium* (pp. 916-923).
- Utama PS, Yamsaengsung R, Sangwichien C. (2013). Optimization using responds surabu boilerce method on silica extraction from palm



**Maria Peratenta Sembiring et all / Unjuk Kerja NaOH Dalam Mereduksi Logam Berat Pada Limbah Abu Boiler**

- oil mill abu boiler. *In Proceedings of the 5th Regional Conference on Chemical Engineering, Pattaya, Thailand*, (Vol. 8, No. 2013, pp. 41-44).
- Xiao, Z., Yuan, X., Li, H., Jiang, L., Leng, L., Chen, X., ... & Cao, L. (2015). Chemical speciation, mobility and phyto-accessibility of heavy metals in abu boiler and slag from combustion of pelletized municipal sewage sludge. *Science of the Total Environment*, 536, 774-783.
- Yin, K., Li, P., Chan, W. P., Dou, X., & Wang, J.- Y. (2017). Characteristics of heavy metals leaching from MSWI abu boileres in sequential scrubbing processes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(1), 604–613. doi:10.1007/s10163-017-0631-3.