



Uji Kinerja Sistem Elektrokoagulasi terhadap Kobalt, Nikel, dan Mangan

Performance Test of Electrocoagulation System to Cobalt, Nickel, and Manganese

OMAN SULAEMAN^{1*}, KARINA ANGGRAENI², MUHAMMAD HAQQIYUDDIN ROBBANI¹,
TATY HERNANINGSIH¹

¹Research Center for Environmental and Clean Technology - National Research and Innovation Agency
Geostech Building 820, Puspitek Serpong, Tangerang Selatan, 15314 Indonesia

²Research Center for Accelerator Technology - National Research and Innovation Agency

*oman001@brin.go.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 September 2022

Accepted 22 December 2022

Published 31 January 2023

Keywords:

Electrocoagulation system

Artificial wastewater

Removal efficiency

ABSTRACT

The increasing demand for batteries for battery-based electric vehicles has caused the battery industry to grow rapidly. Batteries generally contain the heavy metals lithium, nickel, cobalt, and manganese. In solving the problem of battery's heavy metal waste, wastewater treatment technologies is needed. One of the technologies that can be used is electrocoagulation technology. In this research, the performance test of electrocoagulation technology for the treatment of artificial wastewater containing cobalt, nickel, and manganese has been carried out. To determine the removal efficiency of the electrocoagulation system, 50 samples were collected from the processed products from each unit in the system. The results of the performance test of the electrocoagulation system showed that there was an effect of current on the pH value of artificial wastewater which increased by 11.43, 9.59, and 10.67% at currents of 10, 40, and 70 A; time affects the removal of cobalt, nickel and manganese with removal efficiencies reaching 93, 93, and 79%; and current has an effect on the removal of cobalt, nickel, and manganese in the electrocoagulation system as seen in the efficiency of removal of cobalt reaching 79, 90, and 95%; nickel removal efficiency reached 73, 85, and 97% while manganese removal efficiency was 76, 81, and 91% respectively at the same current of 10, 40, and 70 A.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 6 September 2022

Disetujui 22 Desember 2022

Diterbitkan 31 Januari 2023

Kata kunci:

Sistem elektrokoagulasi

Air limbah artifisial

Efisiensi penyisihan

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan baterai untuk kendaraan listrik yang berbasis baterai menyebabkan industri baterai berkembang pesat. Baterai umumnya mengandung logam berat lithium, nikel, kobalt, dan mangan. Dalam memecahkan masalah limbah logam berat baterai ini diperlukan teknologi pengolahan air limbah. Salah satu teknologi yang bisa digunakan adalah dengan teknologi elektrokoagulasi. Dalam penelitian ini telah dilaksanakan uji kinerja perangkat teknologi elektrokoagulasi untuk pengolahan air limbah artifisial yang mengandung kobalt, nikel, dan mangan. Untuk mengetahui efisiensi penyisihan sistem elektrokoagulasi maka dilakukan pengumpulan 50 sampel dari hasil olahan dari masing-masing unit dalam sistem tersebut. Hasil uji kinerja sistem elektrokoagulasi menunjukkan adanya pengaruh arus terhadap nilai pH air limbah artifisial dimana mengalami kenaikan sebesar 11,43, 9,59, dan 10,67% pada arus 10, 40, dan 70 A; waktu berpengaruh terhadap proses penyisihan logam kobalt, nikel, dan mangan dengan efisiensi penyisihan mencapai 93%, 93% dan 79%; dan arus berpengaruh terhadap penyisihan kobalt, nikel, dan mangan pada sistem elektrokoagulasi yang terlihat pada efisiensi penyisihan kobalt mencapai 79, 90, dan 95%; efisiensi penyisihan nikel mencapai 73, 85, dan 97% sedangkan efisiensi penyisihan mangan sebesar 76, 81, dan 91% masing-masing pada arus yang sama 10, 40, dan 70 A.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air limbah dari industri merupakan salah satu sumber utama pencemaran air yang juga berperan penting dalam masalah lingkungan. Hal ini disebabkan industri yang tidak melakukan pengolahan terhadap air limbahnya sebelum dibuang ke badan air. Salah satu industri yang sedang berkembang pesat adalah industri baterai. Jumlah industri ini meningkat karena perkembangan penggunaan kendaraan listrik berbasis baterai yang ditunjang oleh Peraturan Presiden Nomor 55 tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk Transportasi Jalan. Baterai umumnya mengandung logam berat litium, nikel, kobalt, dan mangan. Logam yang terdapat di dalam baterai merupakan logam yang berharga dan masih dapat dimanfaatkan sehingga baterai bekas akan didaur ulang di industri. Dalam operasinya, industri daur ulang baterai bekas kendaraan listrik ini akan menghasilkan air limbah yang akan menimbulkan masalah kerusakan yang cukup besar pada lingkungan dan kesehatan masyarakat jika tidak dilakukan pengolahan terhadap air limbah tersebut.

Penelitian ini akan membahas pengolahan air limbah artifisial yang mengandung kobalt, nikel dan mangan. Pengolahan terhadap air limbah ini dilakukan sebagai salah satu cara pengolahan air limbah yang mengandung logam berat agar memenuhi baku mutu air limbah dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Salah satu teknologi yang dapat diaplikasikan dalam pengolahan limbah logam berat ini adalah dengan menggunakan teknologi elektrokoagulasi. Teknologi elektrokoagulasi ini sudah banyak digunakan di negara-negara maju karena teknologi ini memiliki banyak sekali keunggulan dibanding dengan teknologi yang lain, terutama untuk air limbah yang mengandung bahan-bahan pencemar mineral logam atau logam berat. Teknologi elektrokoagulasi memerlukan modal dan biaya operasional yang tinggi, sehingga teknologi ini masih diabaikan sampai sekarang. Biaya operasional ini tinggi dikarenakan biaya listrik tinggi (Mollah *et al.*, 2001). Alasan ini juga yang menyebabkan teknologi elektrokoagulasi jarang digunakan di Indonesia. Akan tetapi, dengan kondisi lingkungan yang makin menurun, maka para ilmuwan menunjukkan perhatiannya terhadap teknologi elektrokoagulasi karena sifatnya yang ramah lingkungan, bebas toksisitas, dan pengurangan biaya bahan kimia yang memungkinkan untuk pemulihan logam dalam bentuk murni (Chellammal *et al.*, 2010, Lestrade *et al.*, 1981, Malkin, 2003). Secara menyeluruh keuntungan penggunaan teknologi ini dapat mengurangi biaya keseluruhan proses dan meningkatkan kelayakan untuk mengolah air yang terkontaminasi logam. Efisiensi biaya ini apabila dibandingkan dengan pengolahan limbah terkontaminasi logam dengan menggunakan jasa industri pengolahan limbah. Teknologi elektrokoagulasi dapat menghemat sekitar 18,46% setiap 1 m³ (Mukimin, 2006).

Beberapa penelitian dengan proses elektrokoagulasi telah dilakukan terhadap ketiga logam yaitu kobalt, nikel dan mangan. Pengolahan air limbah dengan teknologi ini dilakukan dengan kapasitas yang berbeda dan hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan proses elektrokoagulasi tergantung pada sifat air limbah,

konsentrasi polutan awal, kemampuan alat elektrokoagulasi, dan lamanya proses. Proses penelitian dengan menggunakan *Direct Current Electrocoagulation* telah dilakukan terhadap kobalt dengan percobaan *batch* yang menggunakan dua anoda dan katoda pelat aluminium monopolar sebagai elektroda. Secara umum, arus searah (DC) digunakan dalam air limbah untuk meningkatkan konduktivitas air limbah dan proses elektrokoagulasi. Hasil efisiensi penyisihan kobalt tertinggi 98,60% dicapai dengan kondisi berikut: jarak antar elektroda 5 cm, arus 0,04 A/m², waktu pengoperasian 35 menit, pH 7,5, konduktivitas 13 mS/cm, frekuensi 50 Hz, dan tegangan 50 V. Proses adsorpsi mengikuti kinetika orde pertama dan studi suhu menunjukkan bahwa adsorpsi bersifat eksotermik dan spontan (Mansour *et al.*, 2013). Hasil penelitian pengolahan air limbah elektroplating dengan proses elektrokoagulasi sistem *batch* yang mengandung nikel menunjukkan efisiensi penyisihan yang dicapai sebesar 99,1% (konsentrasi awal 1,175 mg/l, volume air limbah 4 liter) pada kondisi operasi arus 30–60 A/m², 2 elektroda dengan jarak elektroda 1 cm, waktu detensi 30–80 menit, pH 3–10. (Koby *et al.*, 2010). Penggunaan elektrokoagulasi untuk menghilangkan mangan (Mn) dari air menggunakan magnesium sebagai anoda dan galvanis besi sebagai katoda. Berbagai parameter operasi seperti efek pH awal, arus, konfigurasi elektroda, jarak antar elektroda, *coexisting ions* dan suhu pada efisiensi penyisihan Mn diteliti. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan maksimum sebesar 97,2% pada pH 7,0 dicapai pada kerapatan arus 0,0005 A/m² dengan konsumsi energi 1,151 kWh/m³ (Ganesan *et al.*, 2013).

Sulaeman *et al.*, (2015) melakukan penelitian dengan sistem elektrokoagulasi terhadap air dari outlet hasil pengolahan air lindi di Instalasi Pengolahan Air Sampah III Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang. Untuk meningkatkan efisiensi pengolahan dengan proses elektrokoagulasi terhadap logam berat telah dilakukan uji coba dengan sistem elektrokoagulasi skala laboratorium yang dilengkapi dengan penambahan sistem penyisihan seperti proses pada bak sedimentasi dan unit filter. Kualitas air yang telah diteliti di sistem elektrokoagulasi merupakan air baku yang diambil dari hasil pengolahan air lindi di TPST Bantar Gebang yang mengandung empat parameter logam sebagai berikut: Hg 0,7 ppm, Ni 0,345 ppm, Cu 3,87 ppm dan Fe 3,595 ppm. Dengan kualitas air baku tersebut, telah dilakukan pengolahan dengan sistem elektrokoagulasi yang menghasilkan penurunan kandungan logam-logam tersebut menjadi: Hg 0,0027 ppm, Ni 0,143 ppm, Cu 2,4667 ppm dan Fe 1,72 ppm atau efisiensi penyisihan parameter Hg, Ni, Cu dan Fe sebesar 99%, 99%, 75% dan 0,52%. Berkaitan dengan pengolahan air limbah industri daur ulang baterai bekas kendaraan listrik, penulis telah melakukan penelitian pengolahan air limbah artifisial yang mengandung nikel, kobalt dan mangan dengan sistem elektrokoagulasi.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kinerja sistem elektrokoagulasi untuk mengolah air limbah yang mengandung logam berat kobalt, nikel dan mangan.

2. METODE

2.1 Bahan

Uji kinerja unit elektrokoagulasi ini menggunakan air limbah artifisial yang mengandung logam berat kobalt, nikel, dan mangan (Gambar 1). Limbah artifisial ini dibuat dengan cara mencampur bahan-bahan kimia ke dalam tangki berisi air kapasitas 1.000 liter dengan komposisi kobalt 226 g, nikel 226 g dan manganese 160 g. Bahan-bahan kimia yang dicampur didapatkan dari referensi menurut Yoo *et al* (2010) bahwa air limbah yang dihasilkan selama proses daur ulang limbah baterai litium masih mengandung 6.250 g/m³ litium dan 1.153 g/m³ nikel. Sedangkan menurut Zhao *et al* (2020), proses produksi baterai litium dapat menghasilkan air limbah yang mengandung litium dengan kadar 2.000 mg/l. Bila digunakan asumsi berupa konfigurasi LiNi_{0,33}Mn_{0,33}Co_{0,33} atau merujuk pada jenis baterai NMC maka dapat dihitung konsentrasi logam nikel, mangan, dan kobalt sebagai berikut:

Molecular Weight (MW) litium	= 6,941 g/mol
Konsentrasi litium	= 2.000 mg/l
	= 2 g/l
Mol litium	= konsentrasi/MW.....(1)
	= 2/6,941
	= 0,288142919 mol

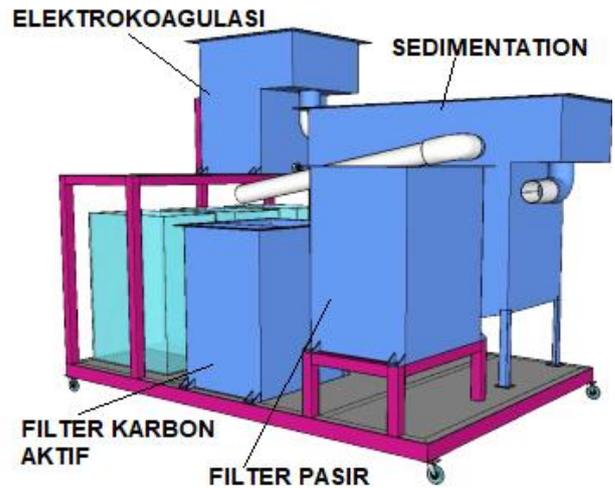
Pencampuran air dan bahan kimia tersebut dilaksanakan dengan menggunakan pompa celup yang terpasang pada tangki tersebut dengan waktu sirkulasi selama ±10 menit ke dalam tangki. Hal ini dilakukan agar bahan-bahan kimia dan air tercampur dengan sempurna.



Gambar 1. Bahan kimia yang digunakan untuk membuat limbah artifisial

2.2 Peralatan

Penelitian dilakukan dalam sistem elektrokoagulasi yang terdiri dari reaktor elektrokoagulasi, bak sedimentasi, filter pasir, filter karbon aktif, dan tangki penampung air olahan. Elektroda yang digunakan pada proses elektrokoagulasi adalah lempengan aluminium. Desain sistem elektrokoagulasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain sistem elektrokoagulasi

2.3 Metode Pengujian

Pengujian kinerja sistem elektrokoagulasi dilakukan tiga kali dengan memasukan air limbah artifisial. Jumlah debit air limbah artifisial dihitung dengan rumus volume reaktor elektrokoagulasi di bagi waktu tinggal dalam reaktor dengan perhitungan sebagai berikut :

$$V = Q \times t \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- V = volume aliran
- Q = debit aliran
- t = waktu aliran

Kebutuhan air limbah artifisial untuk tiga kali pengujian berdasarkan pengaturan arus listrik 10 A, 40 A, 70 A dengan debit 3,67 l/menit x 260 menit = 2495,2 l. Proses pengujian dilaksanakan dengan metode kontinu, dengan debit yang telah diperhitungkan. Air limbah artifisial dialirkan ke reaktor elektrokoagulasi untuk proses elektrokoagulasi dengan waktu tinggal 45 menit, kemudian efluennya diendapkan di bak sedimentasi dengan waktu tinggal 2 jam, dan selanjutnya dilakukan proses filtrasi pada filter pasir dan filter karbon aktif dengan waktu tinggal masing-masing 30 menit dan hasil akhir akan dikumpulkan pada tangki penampung air olahan. Filter pasir dan karbon aktif membutuhkan waktu pengisian ±30 menit, dengan total waktu dalam pengujian adalah ±4 jam. Pengambilan sampel di lakukan di setiap unit pengolahan dari sistem elektrokoagulasi sebanyak 50 sampel dengan nomor sampel, lokasi pengambilan dan waktu pengambilan sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Percobaan untuk mengetahui kinerja unit elektrokoagulasi menghasilkan penyisihan logam kobalt, nikel dan mangan dilakukan dengan dengan skema perubahan arus pada *power supply* sehingga dapat diketahui tegangan yang terjadi dalam proses penyisihan kadar logam pada air limbah artifisial tersebut. Uji kinerja ini dengan menggunakan pengaturan arus 10, 40, dan 70 A dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Pengambilan sampel air di sistem elektrokoagulasi

No. sampel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Waktu (menit)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	160	180	240	260	260	260
Lokasi sampel	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	S	S	S	S	FP	FK

Keterangan: E: unit elektrokoagulasi; S: unit sedimentasi; FP: unit filter pasir; FK: unit filter karbon aktif



Gambar 3. Pelaksanaan uji kinerja sistem elektrokoagulasi

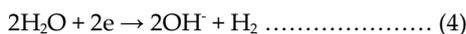
2.4 Metode Elektrokoagulasi

Prinsip elektrokoagulasi adalah proses pengolahan air dimana arus listrik diterapkan di elektroda untuk menghilangkan berbagai kontaminan air (Akbal & Camcı, 2012). Metode elektrokoagulasi dilakukan tanpa bahan kimia dan mampu menurunkan parameter kekeruhan dan warna. Reaktor elektrokoagulasi merupakan sel elektrokimia dengan anodanya sebagai agen koagulan yang menggunakan aluminium (Holt *et al.*, 2002).

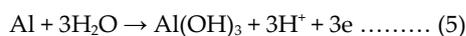
Apabila dalam suatu elektrolit ditempatkan dua elektroda dan dialiri arus listrik searah, maka akan terjadi peristiwa elektrokimia, yaitu gejala dekomposisi elektrolit, dimana ion positif (kation) bergerak ke katoda dan menerima elektron yang direduksi dan ion negatif (anion) bergerak ke anoda dan menyerahkan elektron yang dioksidasi (Boyles, 1997 dan Larue *et al.*, 2003). Katoda Ion H⁺ dari suatu asam akan direduksi menjadi gas hidrogen.



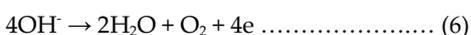
Pelarut (air) direduksi dan terbentuk gas hidrogen (H₂) pada katoda.



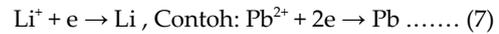
Anoda logam aluminium akan teroksidasi.



Ion OH⁻ dari basa dioksidasi membentuk gas oksigen (O₂)



Larutan mengandung ion-ion logam akan direduksi menjadi logamnya dan terdapat pada batang katoda.



Pada anoda akan dihasilkan gas, buih, dan flok Al(OH)₃. Selanjutnya, flok yang terbentuk akan mengikat unsur yang ada di dalam limbah, sehingga flok akan mengendap. Selanjutnya flok yang telah mengikat kontaminan tersebut diendapkan pada bak sedimentasi dan sisa buih akan terpisahkan pada unit filter.

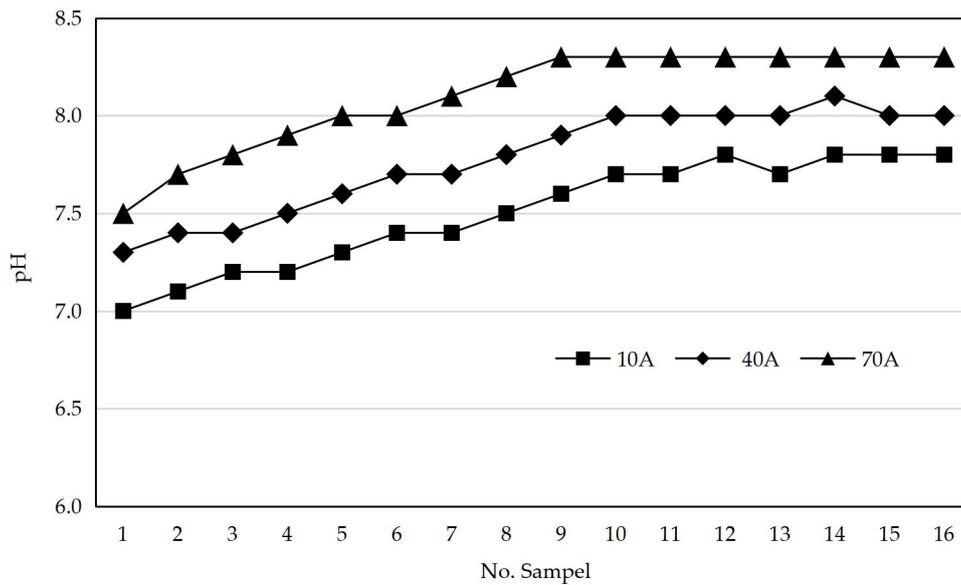
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji kinerja yang dilaksanakan dalam tiga percobaan menggunakan pengaturan arus listrik 10, 40, dan 70 A dan dilakukan selama 260 menit. Dalam 260 menit ini air limbah artifisial diproses melewati tangki-tangki reaktor elektrokoagulasi, bak sedimentasi dan unit filter yang dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil penelitian uji kinerja sistem elektrokoagulasi terhadap air limbah artifisial yang mengandung logam berat nikel, kobalt dan mangan selama tiga percobaan, didapat hasil sebagai berikut.

3.1 Pengaruh Arus terhadap pH

Pada saat proses elektrokoagulasi terjadi perubahan pH (kadar keasaman). Pada analisis awal pH limbah artifisial logam berat sebesar kurang lebih 7 setelah proses elektrokoagulasi, pH mengalami kenaikan seiring dengan lamanya waktu kontak. Perubahan pH disebabkan oleh proses elektrolisis air yang menghasilkan gas hidrogen dan ion hidroksida. Semakin lama waktu kontak maka semakin cepat pembentukan gas hidrogen dan ion hidroksida. Apabila ion hidroksida yang dihasilkan lebih banyak maka akan menaikkan pH (Tuhu Agung & Zurroh, 2018).

Uji kinerja untuk mengetahui pengaruh arus terhadap pH disampaikan hasilnya pada Gambar 4. Dari grafik dapat terlihat bahwa pengaturan rapat arus 10 A menghasilkan pH awal 7 dan nilai ini meningkat setelah proses elektrokoagulasi menjadi 7,7, sedangkan pH pada menit ke 260 adalah 7,8. Pengaturan arus 40 A menghasilkan pH awal sebesar 7,3 dan pada akhir proses elektrokoagulasi pH 8, sedangkan pH setelah bak sedimentasi dan unit filter pH sebesar 8. Selanjutnya, pada arus 70 A menghasilkan pH awal sebesar 7,5 dan pada akhir proses elektrokoagulasi sebesar 8,3, sedangkan pH pada menit 260 sebesar 8,3. Hasil ini menunjukkan hasilnya sesuai dengan teori yaitu semakin lama waktu kontak maka semakin cepat pembentukan gas hidrogen dan ion hidroksida. Banyaknya ion hidroksida akan menaikkan level pH pada elektrokoagulasi dengan arus yang makin meningkat. Arus yang semakin tinggi arus akan menaikkan pH pada elektrokoagulasi.

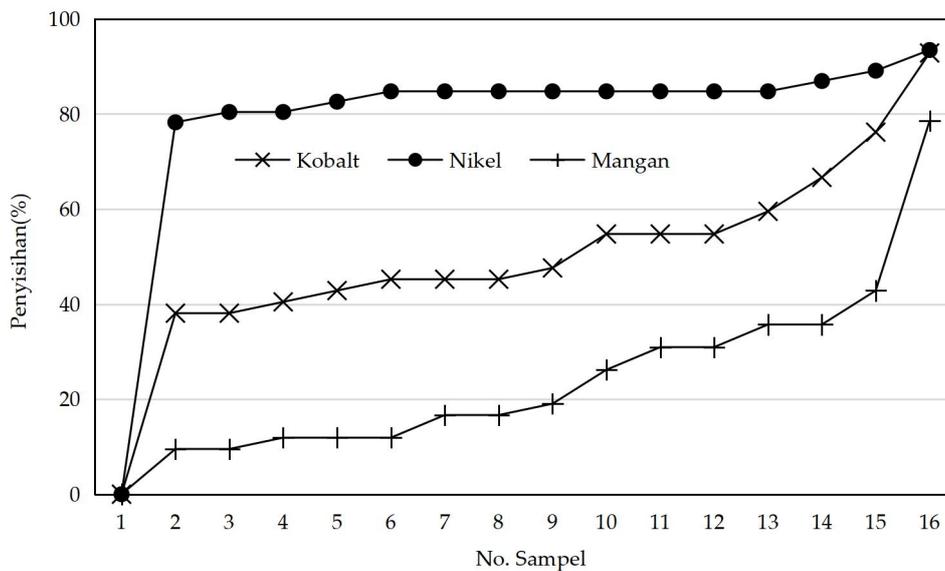


Gambar 4. Perubahan pH terhadap arus

3.2 Pengaruh Waktu Elektrokoagulasi Terhadap Penyisihan Kobalt, Nikel, dan Mangan

Proses elektrokoagulasi yang digunakan pada prinsipnya merupakan proses penyisihan secara fisika terhadap polutan terutama polutan berupa partikel-partikel

padat dan padatan tersuspensi. Penelitian uji kinerja sistem elektrokoagulasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap penyisihan partikel logam kobalt, nikel, dan mangan. Hasil analisis penyisihan ketiga logam tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Penyisihan kobalt, nikel dan mangan

Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui efisiensi penyisihan kandungan atau konsentrasi polutan pada proses elektrokoagulasi di ruang elektrokoagulasi dari sistem elektrokoagulasi mencapai nilai tertinggi di menit ke-15 dengan efisiensi penyisihan kobalt, nikel dan mangan masing-masing sebesar 38, 78, dan 10%. Setelah menit ke-15, penyisihan relatif tidak terlalu besar dan setelah dua jam proses elektrokoagulasi efisiensi penyisihan kobalt meningkat sesuai dengan bertambahnya arus 10, 40, dan 70 A adalah 26, 55, dan 85%. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya waktu proses pengolahan air limbah artifisial yang mengandung kobalt, nikel dan mangan di proses elektrokoagulasi mengakibatkan kenaikan persentase

penyisihan konsentrasi polutan. Dari efisiensi ini dapat diketahui bahwa waktu elektrokoagulasi berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan logam tersebut. Efisiensi penyisihan ini tidak akan meningkat jika sudah mencapai waktu yang optimal karena kenaikan jumlah koagulan yang terbentuk hanya terjadi sampai nilai tertentu.

Penyisihan ini akan dilanjutkan dengan penggunaan unit penunjang seperti unit sedimentasi dan unit filter serta penambahan waktu kontak. Hasil penyisihan akhir dari ketiga logam tersebut di sistem elektrokoagulasi menunjukkan efisiensi penyisihan dari urutan tertinggi ke yang terendah adalah nikel, kobalt dan mangan sebesar 93%, 93% dan 79%. Jika dilihat dari nilai efisiensi, penyisihan nikel

pada proses sedimentasi dan proses filtrasi adalah rendah (8%). Sedangkan nilai efisiensi penyisihan mangan pada proses sedimentasi dan proses filtrasi mempunyai nilai tertinggi.

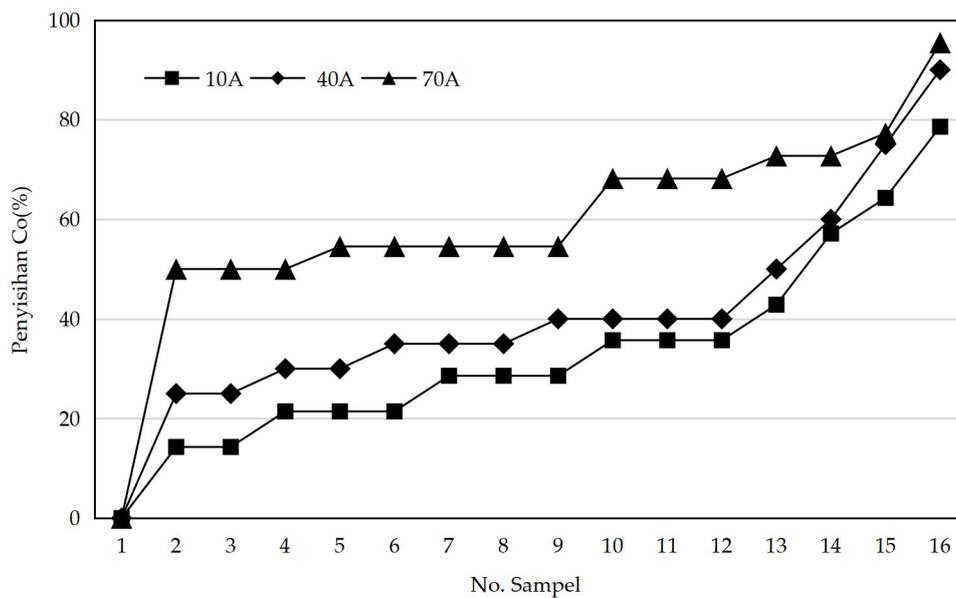
Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa mangan merupakan logam yang tidak banyak mengalami penyisihan pada proses elektrokoagulasi. Uji kinerja unit pengolahan menunjukkan proses penyisihan nikel dengan menambahkan proses sedimentasi dan filtrasi tidak memberikan tambahan efisiensi penyisihan yang signifikan yaitu 8%. Untuk mangan proses penyisihan dengan bak sedimentasi dan unit filter memberikan tambahan efisiensi penyisihan yang besar yaitu 52%. Efisiensi penyisihan kobalt pada proses sedimentasi dan filtrasi relatif cukup baik yaitu 38%, sehingga bak sedimentasi dan unit filter bermanfaat untuk meningkatkan persentase penyisihan kobalt.

Hasil penelitian di sistem elektrokoagulasi menunjukkan bahwa waktu elektrokoagulasi juga berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan polutan. Akan tetapi penyisihan ini tidak akan meningkat dengan bertambahnya waktu jika sudah tercapai waktu penyisihan yang optimal dan kondisi ini dapat dilihat pada

pemisahan nikel yaitu pada sampel nomor 6–10 dengan efisiensi penyisihan tetap 85%. Hal ini disebabkan waktu optimum elektrolisis dengan meningkatkan dosis koagulan, tidak meningkatkan penyisihan polutan karena sudah adanya jumlah flok yang banyak.

3.3 Pengaruh Arus Terhadap Penyisihan Kobalt

Penelitian sistem elektrokoagulasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh arus terhadap penyisihan partikel logam kobalt. Arus yang dialirkan sebesar 10 A, 40 A dan 70 A. Hasil uji kinerja pengaruh arus terhadap penyisihan kobalt ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan bahwa penyisihan kobalt dengan nilai tertinggi terdapat pada menit ke-15 dengan efisiensi penyisihan 14, 25, dan 50% pada arus 10, 40, dan 70 A. Dilihat dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa efisiensi penyisihan meningkat sesuai dengan kenaikan arus. Selanjutnya, dengan bertambahnya waktu kontak, dapat dilihat efisiensi penyisihan setelah dua jam pada akhir waktu elektrokoagulasi, efisiensi penyisihan kobalt meningkat sesuai dengan bertambahnya arus 10, 40, dan 70 A yaitu 36, 40, dan 68%.



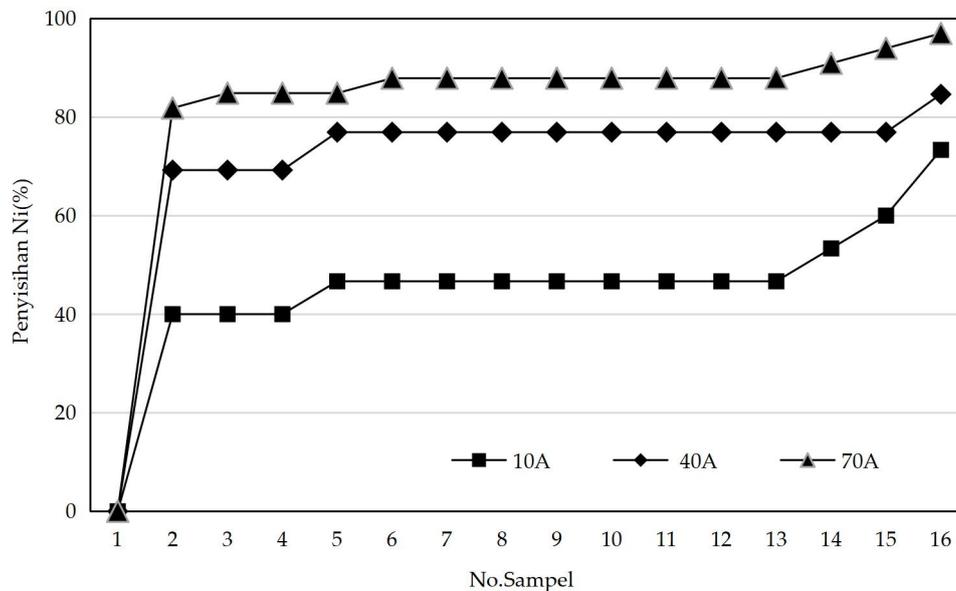
Gambar 6. Penyisihan kobalt dengan perbedaan arus

Penyisihan kobalt dilanjutkan dengan dengan mengalirkan efluen air limbah artifisial hasil elektrokoagulasi ke bak sedimentasi dan unit filter. Proses pengolahan ini dilakukan dengan berbagai waktu kontak dan pengaturan arus yaitu 10, 40, dan 70 A yang hasilnya menunjukkan bahwa nilai tertinggi efisiensi dicapai pada menit ke-260. Hasil penyisihan kobalt pada waktu tersebut dengan rincian arus 10, 40, dan 70 A masing-masing adalah 79, 90, dan 95%. Dari efisiensi ini dapat diketahui bahwa pada bak sedimentasi dan unit filter terjadi peningkatan efisiensi penyisihan pada rincian arus 10, 40, dan 70 A sebesar 43, 50, dan 27% dengan waktu dua jam. Hal ini berarti efisiensi penyisihan pada bak sedimentasi dan unit filter dengan jumlah waktu yang sama dengan proses di elektrokoagulasi, memiliki nilai penyisihan yang lebih kecil.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses elektrokoagulasi dapat digunakan untuk penyisihan kobalt dalam air limbah artifisial dan hasilnya makin baik jika dilengkapi unit sedimentasi dan filter. Hasil uji kinerja sistem elektrokoagulasi ini menunjukkan bahwa logam yang terelektrolisis di permukaan katoda sebanding dengan jumlah muatan yang dialirkan yang sebanding dengan arus. Hal ini sesuai dengan hukum Faraday.

3.4 Pengaruh Arus terhadap Penyisihan Nikel

Pengaruh arus terhadap penyisihan nikel telah dilakukan pada sistem elektrokoagulasi. Jumlah arus yang dialirkan sebesar 10, 40, dan 70 A. Hasil uji kinerja pengaruh arus terhadap penyisihan nikel ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Penyisihan nikel dengan perbedaan arus

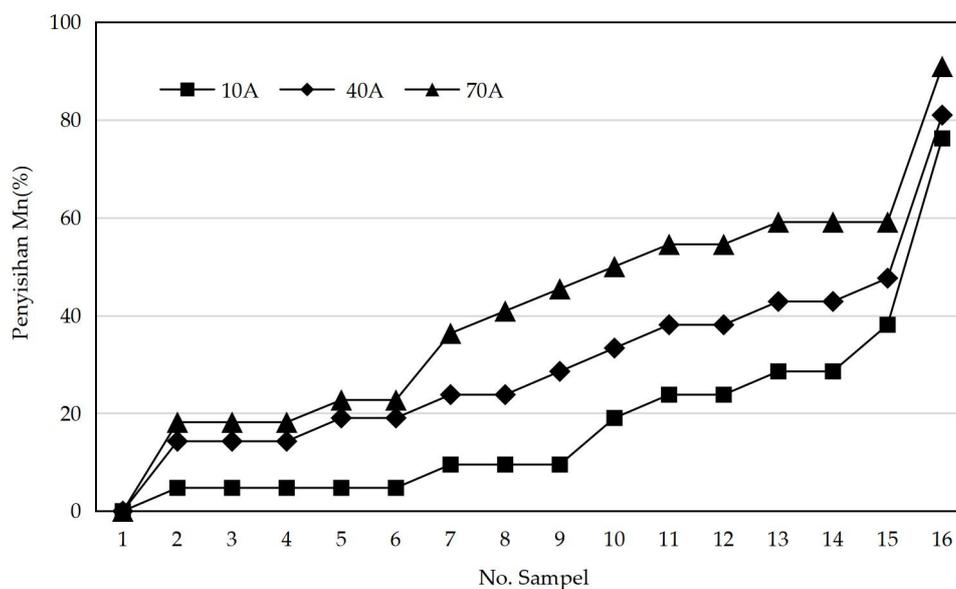
Gambar 7 menunjukkan pengurangan nikel dengan nilai tertinggi terdapat pada menit ke-15, dengan hasil penyisihan nikel adalah 40, 69, dan 82%, dengan arus 10, 40, dan 70 A. Dari nilai dapat dilihat bahwa penyisihan nikel meningkat dengan bertambahnya arus. Sedangkan pada akhir proses elektrokoagulasi setelah waktu dua jam, efisiensi penyisihan nikel bertambah sesuai dengan meningkatnya arus dari 10, 40, sampai 70 A yaitu dengan nilai 47, 77, dan 88%.

Penyisihan nikel dilanjutkan dengan mengalirkan air ke bak sedimentasi dan unit filter dalam berbagai waktu kontak dan pengaturan arus, yaitu 10, 40, dan 70 A dan hasil tertinggi dicapai pada menit ke-260. Pada menit tersebut, efisiensi penyisihan nikel mencapai 73, 85, dan 97%, dengan rincian arus 10, 40, dan 70 A. Pada bak sedimentasi dan unit filter terjadi peningkatan efisiensi penyisihan dengan arus

listrik 10, 40, dan 70 A sebesar 33, 16, dan 15% pada waktu dua jam. Jika dibandingkan pengurangan nikel pada proses elektrokoagulasi dengan proses pada bak sedimentasi dan unit filter dengan waktu dua jam, maka efisiensi penyisihan pada proses pada bak sedimentasi dan unit filter jumlahnya relatif kecil. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa proses elektrokoagulasi sangat baik untuk pengolahan nikel dalam air limbah artifisial.

3.5 Pengaruh Arus Listrik pada Elektrokoagulasi terhadap Penyisihan Mangan

Uji kinerja sistem elektrokoagulasi dilakukan untuk mengetahui pengaruh arus terhadap penyisihan mangan. Besaran arus yang dialirkan pada penelitian ini adalah 10, 40, dan 70 A. Hasil penelitian pengaruh arus terhadap penyisihan mangan ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Penyisihan mangan dengan perbedaan arus

Gambar 8 menunjukkan bahwa penyisihan mangan pada waktu dua jam dengan arus 10 A, 40 A dan 70 A adalah

19%, 33% dan 50%. Untuk meningkatkan efisiensi pengolahan, air hasil olahan dari proses elektrokoagulasi

dialirkan ke bak sedimentasi dan unit filter. Proses ini dilakukan dengan penambahan waktu kontak dan pengaturan arus yang menghasilkan efisiensi penyisihan mangan dengan arus 10, 40, dan 70 A masing-masing yaitu 76, 81, dan 91% pada menit ke-260. Sehingga dapat diperhitungkan, pada proses sedimentasi dan filtrasi dengan waktu dua jam terjadi peningkatan efisiensi penyisihan pada arus 10, 40, dan 70 A sebesar 57, 48, dan 41%. Hasil ini berarti efisiensi penyisihan mangan pada proses sedimentasi dan filtrasi nilainya sangat besar. Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pemisahan mangan pada proses elektrokoagulasi kurang baik hasilnya dan penyisihan pada bak sedimentasi dan unit filter merupakan unit tambahan yang baik untuk meningkatkan efisiensi penyisihan mangan dalam air limbah artifisial.

Tiga fenomena ini menunjukkan kesesuaian hasil penelitian dengan hukum Faraday yaitu kenaikan arus berbanding lurus dengan jumlah logam anoda sebagai sumber koagulan yang terlarutkan. Tren penyisihan logam dapat dengan jelas teramati melalui Gambar 8 bahwa dengan arus 70 A, penyisihan konsentrasi logam kobalt, nikel dan mangan adalah nikel yang paling tinggi. Hal ini dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan sistem elektrokoagulasi ini maka konsentrasi air limbah artifisial yang mengandung logam kobalt, nikel dan mangan menurun. Oleh karena itu, sistem elektrokoagulasi dapat digunakan sebagai alternatif pengolah limbah artifisial.

Proses penurunan logam dari air limbah artifisial ini terjadi melalui pembentukan koagulan $Al(OH)_x$ yang dihasilkan oleh anoda Al dan ion OH^- yang berasal dari molekul H_2O . Koagulan $Al(OH)_x$ ini selanjutnya mengadsorpsi logam yang ada ke dalam rongga molekulnya. Koagulasi yang dihasilkan dari proses di atas disebut elektrokoagulasi. Sebagai tambahan informasi bahwa peningkatan waktu elektrokoagulasi mempengaruhi biaya proses karena konsumsi energi dan bahan elektroda yang lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penjelasan diatas mengenai pengaruh arus terhadap pH, dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu kontak proses elektrokoagulasi untuk mengolah air limbah artifisial maka nilai pH akan bertambah sesuai dengan peningkatan arus. Adanya pengaruh arus terhadap nilai pH air limbah artifisial menyebabkan kenaikan sebesar 11,43, 9,59, dan 10,67% pada arus 10, 40, dan 70 A. Waktu berpengaruh terhadap proses penyisihan logam kobalt, nikel, dan mangan dengan efisiensi penyisihan mencapai 93, 93, dan 79%. Proses elektrokoagulasi nikel menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan tidak akan meningkat dengan bertambahnya waktu jika sudah tercapai waktu penyisihan yang optimal.

Proses elektrokoagulasi berfungsi dengan baik dalam penyisihan nikel, tetapi kurang berarti pada penyisihan mangan. Penambahan bak sedimentasi dan unit filter tidak memberikan dampak yang signifikan pada penyisihan nikel, tetapi kedua unit ini meningkatkan efisiensi penyisihan pada mangan. Arus berpengaruh terhadap penyisihan kobalt, nikel, dan mangan pada sistem elektrokoagulasi yang terlihat pada efisiensi penyisihan kobalt mencapai 79, 90,

dan 95% pada arus listrik 10, 40, dan 70 A, penyisihan nikel mencapai 73, 85, dan 97%, sedangkan penyisihan mangan pada mencapai 76, 81, dan 91%. Proses elektrokoagulasi hasilnya baik untuk penyisihan kobalt dan nikel dengan efisiensi penyisihan makin meningkat jika dilengkapi unit sedimentasi dan filter. Sedangkan proses elektrokoagulasi untuk penyisihan mangan hasilnya kurang baik dan akan lebih baik hasilnya dengan penambahan unit sedimentasi dan filter.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih disampaikan pertama, kepada Kepala Pusat PRLTB-BRIN yang memberikan arahan penyusunan karya tulis ini. Kedua, ucapan terima kasih disampaikan kepada para pihak, salah satunya Ir. Nugro Rahardjo, M.Sc. yang telah membantu pelaksanaan kegiatan di laboratorium PRLTB-BRIN dan penulisan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbal, F., & Camcı, S. (2012). Treatment of metal plating wastewater by electrocoagulation. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 31(3), 340-350.
- Boyles, W. (1997). Chemical oxygen demand. Technical information series, Booklet,(9), 24.
- Chellammal, S., Raghu, S., Kalaiselvi, P., & Subramanian, G. (2010). Electrolytic recovery of dilute copper from a mixed industrial effluent of high strength COD. *Journal of hazardous materials*, 180(1-3), 91-97.
- Ganesan, P., Lakshmi, J., Sozhan, G., & Vasudevan, S. (2013). Removal of manganese from water by electrocoagulation: adsorption, kinetics and thermodynamic studies. *The Canadian journal of chemical engineering*, 91(3), 448-458.
- Holt, P. K., Barton, G. W., Wark, M., & Mitchell, C. A. (2002). A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 211(2-3), 233-248.
- Kobya, M., Demirbas, E., Dedeli, A., & Sensoy, M. T. (2010). Treatment of rinse water from zinc phosphate coating by batch and continuous electrocoagulation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1-3), 326-334.
- Larue, O., Vorobiev, E., Vu, C., & Durand, B. (2003). Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. *Separation and purification technology*, 31(2), 177-192.
- Lestrade, C., Guyomar, P. Y., & Astruc, M. (1981). Electrochemical removal of dilute heavy metals with carbon felt porous electrodes. *Environmental Technology*, 2(9), 409-418.
- Malkin, V. P. (2003). Electrolytic effluent treatment. *Chemical and petroleum engineering*, 39(1), 46-50.
- Mansour, S. E., Negim, E. S., Hasieb, I. H., Desouky, O. A., Abdykalykova, R., & Beisebekov, M. (2013). Removal of cadmium pollutants in drinking water using alternating

- current electrocoagulation technique. *Global Journal of Environmental Research*, 7(3), 45-51.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2001). Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of hazardous materials*, 84(1), 29-41.
- Mukimin, A. (2006). Pengolahan limbah industri berbasis logam dengan teknologi elektrokoagulasi flotasi (Doctoral dissertation, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro).
- Peraturan menteri lingkungan hidup republik indonesia nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia.
- Peraturan Presiden No 55 tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk Transportasi Jalan.
- Sulaeman, O., Hartaja, D. R. K., Ikbal, & Nugroho, R. (2015). Rancang Bangun Teknologi Pengolahan Limbah Mengandung Logam Berat. Bunga Rampai Pusat Teknologi Lingkungan. Teknologi Hijau dalam Rangka Rendah Karbon.
- Tuhu Agung, R., & Zurroh, A. (2018). Kinerja Elektrokoagulasi Sebagai Pengolahan Alternatif Limbah Cair Tinja. *Jurnal Envirotek*, 10(2).
- Yoo, K., Shin, S. M., Yang, D. H., & Sohn, J. S. (2010). Biological treatment of wastewater produced during recycling of spent lithium primary battery. *Minerals Engineering*, 23(3), 219-224.
- Zhao, C., He, M., Cao, H., Zheng, X., Gao, W., Sun, Y., Zhao, H., Liu, D., Zhang, Y. & Sun, Z. (2020). Investigation of solution chemistry to enable efficient lithium recovery from low-concentration lithium-containing wastewater. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 14, pp.639-650.