



ARTIKEL PENELITIAN

Pengaruh parameter operasi terhadap persentase rekoveri litium dari sea water reverse osmosis (SWRO)

Ferian Anggara^{1,3,*}, Vincent Sutresno Hadi Sujoto^{2,3}, Widi Astuti⁴, Slamet Sumardi⁴, Ilham Satria Raditya Putra⁵, Agik Dwika Putra⁵, Himawan Tri Bayu Murti Petrus^{2,3}

¹Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Jl Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55283, Indonesia

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada Jl Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55283, Indonesia

³Unconventional Geo-resources Research Center, Fakultas Teknik, UGM, Jl. Grafika No.2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281, Indonesia

⁴Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Jl. Ir. Sutami, Serdang, Kec. Tj. Bintang, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, 35361, Indonesia

⁵PT.Cirebon Electric Power, Jl. Raya Cirebon – Tegal Km. 8.5, Kanci Kulon, Astanajapura, Cirebon, 45181, Indonesia

Disubmit 30 November 2022; direvisi 24 Desember 2022; diterima 26 Desember 2022



OBJECTIVES The concentration of lithium in sea water reverse osmosis (SWRO) is still small compared to conventional sources. The trend of seawater use in the world is expected to increase in the coming years. The aim of this research is to extract lithium from SWRO wastewater. **METHODS** The material used is SWRO wastewater from PT. Cirebon Electric Power. The initial stage that needs to be done is the evaporation process. The evaporation process is carried out at a temperature of 90°C. The evaporation process aims to concentrate or concentrate certain minerals. At this stage the percentage of evaporation is varied (70, 80, and 90%). The precipitation process is carried out using sodium carbonate (Na_2CO_3). The initial stage is the preparation of a 3 M Na_2CO_3 solution. 250 mL of the evaporated solution was prepared and heated at various temperatures (70, 80, and 90 °C). **RESULTS** The analysis also shows a tendency for the percentage of recovery to increase in line with the increase in the percentage of evaporation. Although the effect is small, the precipitation temperature also has an impact on the lithium recovery percentage process. **CONCLUSIONS** The best conditions in this study were at a percentage of evaporation of 90% with a precipitation tempera-

ture of 90 °C with a recovery percentage of more than 70%.

KEYWORDS evaporation, lithium, lithium carbonate, precipitation, SWRO

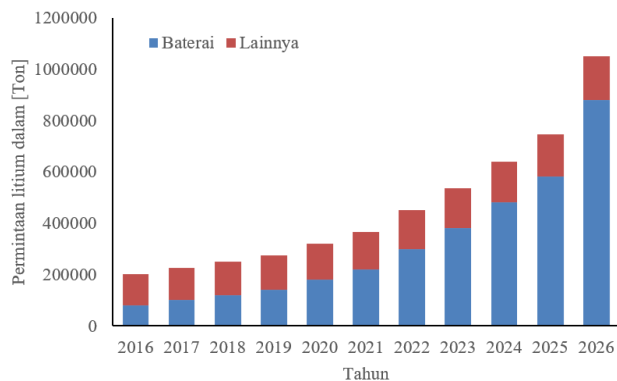
TUJUAN Konsentrasi litium dalam *sea water reverse osmosis* (SWRO) terhitung masih kecil dibandingkan dengan sumber konvensional. Tren penggunaan air laut di dunia diperkirakan naik untuk tahun-tahun mendatang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengekstrak litium dari limbah cair SWRO. **METODE** Bahan yang digunakan adalah limbah cair SWRO yang berasal dari PT. Cirebon Electric Power. Tahap awal yang perlu dilakukan adalah proses evaporasi. Proses evaporasi dilakukan pada temperatur 90°C. Proses evaporasi bertujuan untuk memekatkan atau mengkonsentrasikan mineral tertentu. Pada tahapan ini persentase penguapan divariasikan (70, 80, dan 90%). Proses presipitasi dilakukan dengan menggunakan bantuan natrium karbonat (Na_2CO_3). Tahap awal adalah pembuatan larutan Na_2CO_3 3 Molar. 250 mL larutan hasil evaporasi disiapkan dan dipanaskan pada berbagai variasi temperatur (70, 80, dan 90 °C). **HASIL** Analisa tersebut juga menunjukkan kecenderungan semakin meningkatnya persentase rekoveri yang sejalan dengan meningkatnya persentase penguapan. Meskipun dampaknya kecil, temperatur presipitasi juga memberikan dampak dalam proses persentase rekoveri litium. **KESIMPULAN** Kondisi terbaik di dalam penelitian ini adalah pada persentase penguapan 90% dengan temperatur presipitasi 90 °C dengan persentase rekoveri mencapai lebih dari 70%.

KATA KUNCI evaporasi, litium, litium karbonat, presipitasi, SWRO

1. PENDAHULUAN

Litium adalah merupakan unsur padat paling ringan dalam tabel periodik dan memiliki beberapa karakteristik yang ung-

*Korespondensi: ferian@ugm.ac.id

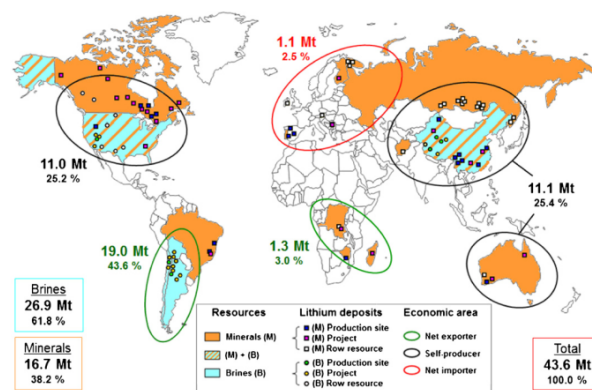


GAMBAR 1. Komparasi permintaan litium hingga tahun 2026.

gul seperti tinggi nilai redoks potensial, tinggi nilai kapasitas panas spesifik dan tinggi aktivitas elektrokimia di dibandingkan dengan unsur padat lainnya (Zhang dkk. 2020). Litium banyak digunakan dalam setiap sendi kehidupan manusia, meliputi pembuatan keramik, obat-obatan, pelumas, dan yang utama sebagai baterai litium (Sutijan dkk. 2022). Masyarakat modern sekarang banyak menggunakan produk dari litium kususnya baterai litium yang ada dalam banyak peralatan elektronik seperti laptop, handphone, smartwatch dan kendaraan listrik. Pada tahun 2025 diprediksi kebutuhan baterai litium sebesar 400.000 ton dengan peningkatan jumlah konsumsi sebesar 15% setiap tahun (Hartono dkk. 2017). Sumber litium di alam dapat di peroleh dari mineral Lepidolite, Spodumene, Petalite dan Amblygonite sedangkan untuk sumber litium cair di peroleh dari *continental brine*, *seawater* dan *geothermal brine* (Sujoto dkk. 2022). Lebih dari 66% sumber daya litium berasal dari *continental brine* yang berlokasi di *lithium triangle* di negara Chile, Bolivia dan Argentina (HTangkas dkk. 2021).

Lithium telah banyak digunakan dalam proses pembuatan kaca, keramik, baterai, dan industri lainnya. Lithium memiliki berbagai kegunaan, tetapi kelimpahannya di alam hanya 0,0018% (Glasstone dan Sesonke 1994). Permintaan akan litium di pasar global sedang mengalami peningkatan yang pesat karena penggunaan litium yang semakin bertambah banyak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Permintaan litium diperkirakan akan terus tumbuh dan secara dramatis di tahun-tahun mendatang karena berbagai jenis baterai litium adalah kandidat paling menjanjikan untuk menggerakkan kendaraan listrik (Opitz dkk. 2017). Hingga saat ini konsumsi litium di dunia terus mengalami peningkatan yaitu mencapai lebih dari 100.000 ton litium karbonat per tahun dan diperkirakan pada tahun 2025 konsumsi litium dapat mencapai lebih dari 160.000 ton litium karbonat per tahun (Murodjon dkk. 2020). Saat ini 2/3 dari litium di dunia di peroleh dari ekstraksi *brine* yaitu sebesar setengah juta liter air garam per ton litium karbonat (Flexer dkk. 2018). Meskipun permintaan litium sangat banyak, tetapi sumber daya litium yang masih belum dapat memenuhi permintaan ini sehingga sumber daya litium yang jauh lebih besar sedang dipertimbangkan.

Ekstraksi litium dari alam telah menjadi tren dalam industri ekstraksi litium karena biayanya yang rendah dan ketersediaannya yang melimpah. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, hingga saat ini hanya beberapa negara seperti Chili, Amerika Serikat, China dan Australia yang dikenal seba-



GAMBAR 2. Peta Sebaran Litium di seluruh dunia (Grosjean dkk. 2012).

gai negara dengan sumber litium yang melimpah. Akan tetapi sebenarnya Indonesia juga memiliki beberapa sumber air asin yang memiliki kandungan litium yang cukup melimpah.

SWRO adalah singkatan dari *sea water reverse osmosis*. Ini adalah proses penyaringan, yang dapat diterapkan dalam skala besar, untuk menghasilkan air tawar dari air laut untuk proses industri, irigasi, dan air minum. Konsep dasar Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) adalah memanfaatkan membran semi permeabel dimana sebagian besar spesies terlarut ditolak sementara air bersih dapat lolos melalui membran. Biasanya, air secara spontan berdifusi melalui membran semipermeabel dari larutan encer ke larutan pekat. Osmosis adalah fenomena dimana air akan mengalir dari larutan dengan konsentrasi rendah ke larutan dengan konsentrasi tinggi, untuk menyeimbangkan konsentrasi larutan. Dalam reverse osmosis, efek sebaliknya mungkin terjadi, di mana air akan mengalir dari larutan dengan konsentrasi lebih tinggi ke larutan dengan konsentrasi lebih rendah. Untuk mencapai proses ini, perbedaan tekanan yang sangat tinggi perlu diterapkan untuk mengatasi tekanan osmotik. Di SWRO, air laut dipompa dengan tekanan tinggi menuju membran. Membran menahan garam terlarut dan molekul anorganik tetapi memungkinkan molekul air melewati membran. Aliran yang tertahan oleh oleh membrane digunakan sebagai bahan utama di dalam penelitian ini.

Konsentrasi litium dalam *sea water reverse osmosis* (SWRO) terhitung masih kecil dibandingkan dengan sumber konvensional. Tren penggunaan air laut di dunia diperkirakan naik untuk tahun-tahun mendatang, peningkatan penggunaan air laut akan meningkatkan juga potensi sumber litium dari air laut. Kontribusi penggunaan air desalinasi mencapai 141,5 juta m³/hari dengan total 51,7 miliar m³/tahun (Coterillo dkk. 2022). Tantangan dalam menciptakan dampak ekonomi sirkular dari aktivitas pengambilan litium dari sumber air laut adalah mengembangkan teknologi yang dapat selektif mengambil litium dengan konsentrasi yang sangat kecil.

Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengekstrak litium dari sumber mineral cairnya, antara lain *solvent extraction*, *evaporative crystallization*, *precipitation*, *ion sieve adsorption*, atau kombinasinya (Sun dkk. 2021). Beberapa metode memiliki kekurangan dari segi konsumsi waktu, artinya dibutuhkan waktu yang lama dalam proses pengambilan litium, tingginya tingkat polusi, dan proses pemisahan yang kurang efisien (Huang dan Wang 2019). Setiap metode memiliki ke-

lebih dan kekurangannya masing-masing.

Salah satu teknik yang dianggap paling sederhana dan ekonomis adalah dengan menggunakan metode pengendapan (presipitasi). Kandungan lithium dalam *seawater* dapat diendapkan dengan reagen pengendap dan hasilnya berupa padatan lithium karbonat (Khalil dkk. 2022). Namun, belum diketahui recovery lithium dari limbah cair SWRO apakah dapat menghasilkan logam lithium yang efisien (Murodjon dkk. 2020). Selain itu belum diketahui metode yang paling efisien untuk merecovery lithium dengan hasil yang optimal. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Qiu dkk. (2019). Mereka menggunakan limbah dengan komposisi litium tertentu dengan menggunakan metode RO sebelum diubah menjadi litium karbonat. Pada penelitian tersebut dijelaskan terkait pengaruh penggunaan retentat RO sebagai bahan untuk pembuatan litium karbonat (Qiu dkk. 2019). Hal ini menunjukkan bahwa larutan buangan SWRO juga memiliki potensi dalam pembuatan litium karbonat. Oleh karena itu, recovery lithium dari limbah cair SWRO dengan metode presipitasi perlu dikembangkan dan diteliti lebih lanjut, sehingga diharapkan dapat memanfaatkan limbah cair SWRO yang belum didayagunakan, serta dapat menguntungkan dari segi ekonomi karena logam ini mempunyai nilai jual yang tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi recovery lithium dari sumber limbah cair SWRO, menentukan variabel yang paling dominan dan kondisi operasi optimum dalam recovery lithium dari limbah cair SWRO, menentukan persentase kadar lithium dari hasil recovery lithium, serta mengetahui pengaruh konsentrasi larutan pengendap Na_2CO_3 dan temperatur reaksi terhadap persentase recovery Li^+ yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Persiapan dan karakterisasi bahan baku

Bahan yang digunakan adalah limbah cair SWRO yang berasal dari PT. Cirebon Electric Power. Limbah cair tersebut kemudian akan dianalisa dengan menggunakan Analisa ICP-OES untuk mengetahui komposisi awal cairan tersebut. ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) adalah teknik analisis yang digunakan untuk mendeteksi elemen kimia unsur logam. Analisa ini adalah jenis spektroskopi emisi yang menggunakan plasma yang digabungkan secara induktif untuk menghasilkan atom dan ion tereksitasi yang memancarkan radiasi elektromagnetik pada karakteristik panjang gelombang unsur tertentu.

2.2 Proses evaporasi

Tahap awal yang perlu dilakukan adalah proses evaporasi. Proses evaporasi dilakukan pada temperatur 90 °C. Proses evaporasi bertujuan untuk memekatkan atau mengkonsentrasikan mineral tertentu. Karena dengan proses evaporasi, air akan diuapkan dan seharusnya secara teori mineral litium memiliki titik didih 180,5 °C sehingga hanya air yang akan teruapkan dan mineral litium akan semakin pekat. Proses evaporasi dilakukan dengan memvariasikan volume penguapan (70, 80, dan 90%). Setelah proses evaporasi selesai, selanjutnya akan dilakukan penyaringan cairan untuk kemudian diolah lebih lanjut.

TABEL 1. Komposisi limbah SWRO hasil analisa ICP-OES.

No.	Unsur	Konsentrasi [ppm]
1	Fe	0,092
2	Cu	0,067
3	Al	0,055
4	Li	0,42
5	Ni	0,084
6	Mn	0,131
7	Co	0,122
8	Ca	550,03
9	Na	13420

2.3 Presipitasi litium karbonat

Proses presipitasi dilakukan dengan menggunakan cairan hasil tahapan penyaringan sebelumnya. Proses presipitasi dilakukan dengan menggunakan bantuan natrium karbonat (Na_2CO_3). Tahap awal adalah pembuatan larutan Na_2CO_3 3 Molar. 250 mL larutan hasil evaporasi disiapkan dan dipanaskan pada berbagai variasi temperatur (70, 80, dan 90 °C). Kemudian tambahkan 20 mL larutan Na_2CO_3 3 Molar. Setelah larutan Na_2CO_3 dituangkan, kemudian wadah ditutup dan dibiarkan hingga membentuk butiran-butiran kecil yang ditandai dengan adanya perubahan warna. Kemudian saat kondisi masih panas, larutan disaring dan padatan yang diperoleh merupakan litium karbonat.

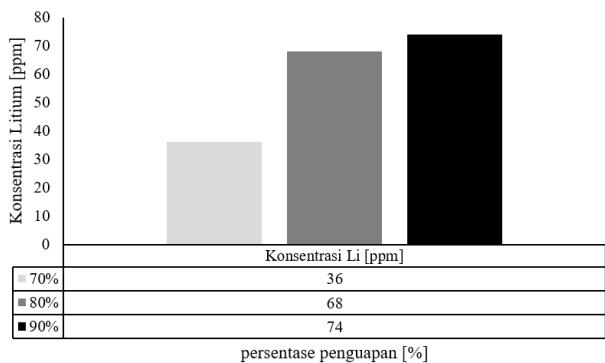
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Limbah SWRO sebelum dan sesudah proses evaporasi

Hasil karakterisasi menggunakan analisa ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry*) ditampilkan pada Tabel 1. Analisa ICP-OES bertujuan untuk mengetahui komposisi dari limbah cair SWRO. Berdasarkan hasil Analisa ICP-OES, terlihat bahwa komponen utama penyusun limbah cair SWRO adalah Natrium dan kalsium. Kadar litium yang tidak terlalu rendah memberikan kemungkinan untuk mengekstraksi mineral tersebut.

Tahapan awal pada penelitian ini adalah proses evaporasi. Proses ini bertujuan untuk mengurangi kandungan air di dalam limbah. Dengan berkurangnya kandungan air, maka konsentrasi mineral di dalamnya akan meningkat. Dan mengurangi kandungan beberapa logam seperti natrium dan kalsium yang jumlahnya sangat banyak. Konsentrasi litium hasil Analisa ICP setelah proses evaporasi maka dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.

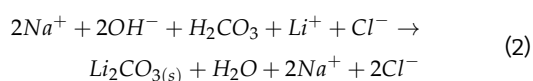
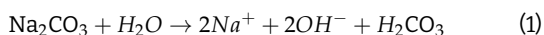
Gambar 3 dan Tabel 1 menunjukkan adanya kenaikan konsentrasi yang cukup signifikan. Berdasarkan hasil analisa pada sebelum dan sesudah proses evaporasi, maka dapat disimpulkan bahwa proses evaporasi cukup efektif dalam proses pemekatan mineral litium di dalam cairan. Proses evaporasi ini bertujuan untuk mengurangi kandungan natrium di dalam cairan. Secara teoritis NaCl memiliki kelarutan 360 g/L yang nilainya lebih kecil dibandingkan mineral lainnya seperti litium yang memiliki kelarutan 830,5 g/L (Lide 2007; Žeželj dan Dimovski 2019). Oleh karena itu, seperti yang ditampilkan pada Gambar 3, bahwa semakin besar persentase penguapan, maka semakin besar pula konsentrasi litium yang diperoleh di dalam cairan.



GAMBAR 3. Konsentrasi litium hasil proses evaporasi dengan variasi persentase penguapan..

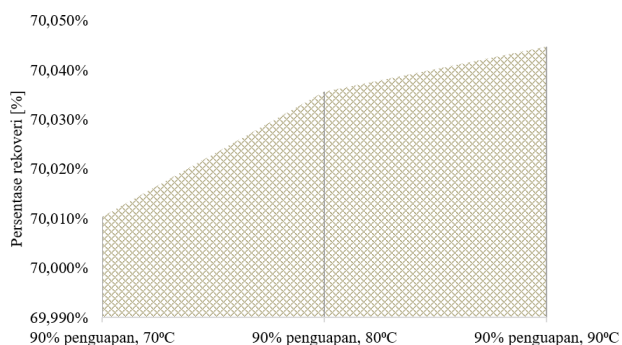
3.2 Presipitasi litium karbonat

Presipitasi litium dilakukan dengan menggunakan larutan natrium karbonat (Na₂CO₃) 3M. Pemilihan kondisi tersebut didasarkan penelitian yang dilakukan oleh Han dkk. (2020) yang dimodifikasi Han dkk. (2020). pada tahapan presipitasi, dilakukan variasi temperatur operasi, yaitu pada temperatur operasi 70, 80, dan 90 °C. Pada proses presipitasi ini reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut (CHOI dan WANG 2020; Han dkk. 2020):



Hasil variasi tersebut digambarkan pada pada Gambar 4 dalam parameter persentase rekoveri. Persentase rekoveri dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

Gambar 4 menunjukkan adanya kenaikan persentase rekoveri dari litium seiring meningkatnya temperatur presipitasi. Hal ini disebabkan karena kelarutan litium akan semakin rendah pada temperatur operasi yang lebih tinggi (Wang dkk. 2018). Hal ini berkebalikan dengan karakteristik dari natrium yang mana Natrium klorida, yang mana pada temperatur yang lebih tinggi Natrium karbonat akan meningkat seiring meningkatnya temperatur (Seidell 1940). Akan tetapi, kenaikan yang terjadi menunjukkan kenaikan yang tidak terlalu signifikan, hal ini menunjukkan bahwa temperatur tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap persentase



GAMBAR 4. Grafik pengaruh temperatur terhadap persentase rekoveri litium

rekoveri litium pada range temperatur yang di gunakan di dalam penelitian ini.

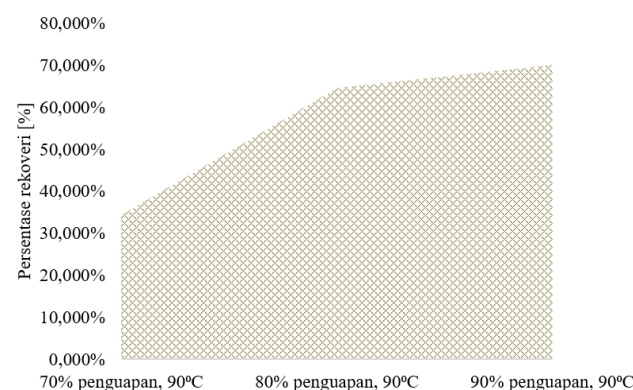
Variabel lain yang mempengaruhi persentase rekoveri dari litium adalah kandungan awal dari larutan yang akan dipresipitasi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan juga parameter persentase penguapannya (70, 80, dan 90%) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase penguapan, maka semakin tinggi pula persentase rekoveri litium yang akan diperoleh. Seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa dengan persentase penguapan yang lebih tinggi, maka kandungan litium di dalam umpan presipitasi juga akan semakin tinggi. Sehingga, jumlah litium yang terpresipitasi akan semakin tinggi pula. Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5, maka dapat disimpulkan bahwa persentase penguapan dan temperature presipitasi memegang peranan penting di dalam penelitian.

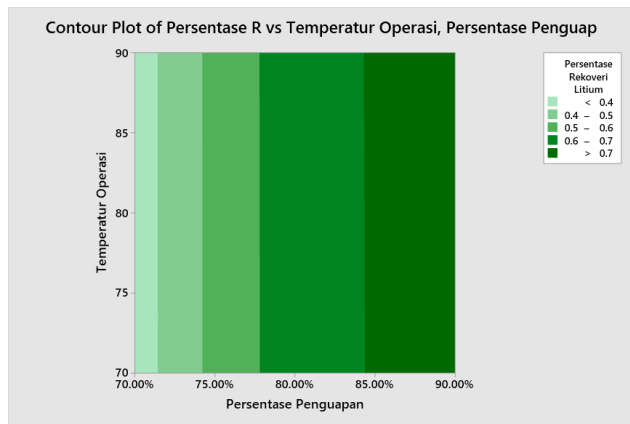
3.3 Optimasi persentase rekoveri dari litium dari SWRO

Optimasi persentase rekoveri dilakukan untuk menentukan titik optimal rekoveri litium yang dihasilkan akibat pemvariasian persentase penguapan dan temperatur operasi. Metode Responses Surface Methodology (RSM) adalah metode yang umum digunakan dalam untuk mengoptimalkan kondisi operasi dari independent variable dan dependent variable kemudian menghubungkannya dalam bentuk model matematika (Breig dan Luti 2021). Proses optimasi dibantu dengan menggunakan software minitab® untuk membantu menentukan titik terbaik untuk menghasilkan persentase rekoveri tertinggi. Sebagai independent variable adalah persentase penguapan dan temperatur presipitasi terhadap persentase rekoveri sebagai variabel respon. Gambar 6a dan 6b. pada Gambar 6a terlihat respons kontur persentase rekoveri litium yang memberikan nilai tertinggi berada di sekitar area di atas 85%. Selain itu, Gambar 6a juga memperkuat fenomena yang dijelaskan sebelumnya pada Gambar 4, bahwa kenaikan persentase rekoveri terhadap perubahan temperatur sangat kecil sehingga tidak terlalu tampak pada diagram tersebut.

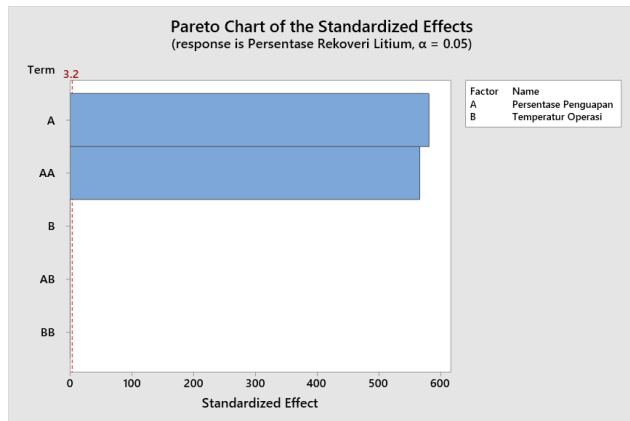
Gambar 6b menunjukan diagram pareto dengan factor yang paling mempengaruhi persentase rekoveri litium adalah persentase penguapan dan menguatkan penjelasan pada Gambar 6a terkait temperatur operasi yang tidak memberikan dampak signifikan terhadap persentase rekoveri. Berda-



GAMBAR 5. Grafik pengaruh persentase penguapan terhadap persentase rekoveri litium



(a)



(b)

GAMBAR 6. Kontur plot RSM (a), parreto chart (b)

sarkan data hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat dirumuskan sebuah persamaan yang menghubungkan parameter berpengaruh terhadap persentase rekovery litium yang dihasilkan adalah berikut:

$$\%R_{Li} = -8,7628 + 21,7303.A - 12,4619.A^2 \quad (3)$$

1. $\%R_{Li}$ = Persentase rekovery litium (%)
2. A = Persentase penguapan (%)

Persamaan (3) hanya efektif untuk persentase penguapan hingga 90% dengan temperatur presipitasi hingga 90 °C.

4. KESIMPULAN

Penelitian telah berhasil membuat produk litium karbonat dengan menggunakan limbah cair SWRO. Hasil analisa ICP-OES menunjukkan bahwa parameter independent yang digunakan selama penelitian (persentase penguapan dan temperature presipitasi) memeberikan dampak dalam proses rekovery litium dari limbah cair SWRO. Berdasarkan Analisa RSM, maka dapat dilihat bahwa persentase penguapan memeberikan dampak yang lebih signifikan dibandingkan dengan temperature operasi. Analisa tersebut juga menunjukkan kecenderungan semakin meningkatnya persentase rekovery yang sejalan dengan meningkatnya persentase penguapan. Meskipun dampaknya kecil, temperatur presipitasi juga memeberikan dampak dalam proses persentase rekovery litium. Kondisi terbaik di dalam penelitian ini adalah pada persentase penguapan 90% dengan temperatur presipitasi 90

°C dengan persentase rekovery mencapai lebih dari 70%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan Universitas Gadjah Mada dan kerjasama Divisi Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Lampung dan PT. Cirebon Electric Power.

DAFTAR PUSTAKA

Breig SJM, Luti KJK. 2021. Response surface methodology: A review on its applications and challenges in microbial cultures. *Materials Today: Proceedings*. 42:2277–2284. doi:10.1016/j.matpr.2020.12.316.

CHOI DH, WANG JP. 2020. A study on the synthesis of lithium carbonate (li2co3) from waste acidic sludge. *Archives of Metallurgy and Materials*. 65(4):1351–1355. doi:10.24425/a mm.2020.133698.

Coterillo R, Gallart LE, Fernández-Escalante E, Junquera J, García-Fernández P, Ortiz I, Ibañez R, San-Román MF. 2022. Selective extraction of lithium from seawater desalination concentrates: Study of thermodynamic and equilibrium properties using Density Functional Theory (DFT). *Desalination*. 532:115704. doi:10.1016/j.desal.2022.115704.

Flexer V, Fernando C, Inés C. 2018. Science of the Total Environment Lithium recovery from brines : A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of the Total Environment*. 639:1188–1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223>.

Glasstone S, Sesonske A. 1994. *Nuclear Reactor Engineering*. Engineering. C:395. <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4615-2083-2>.

Grosjean C, Herrera Miranda P, Perrin M, Poggi P. 2012. Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(3):1735–1744. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.023>.

H Tangkas IWCW, Astuti W, Sutijan, Sumardi S, Petrus HTBM. 2021. Lithium titanium oxide synthesis by solid-state reaction for lithium adsorption from artificial brine source. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 882(1):012005. doi:10.1088/1755-1315/882/1/012005.

Han B, Anwar UI Haq R, Louhi-Kultanen M. 2020. Lithium carbonate precipitation by homogeneous and heterogeneous reactive crystallization. *Hydrometallurgy*. 195. doi:10.1016/j.hydromet.2020.105386.

Hartono M, Astrayudha MA, Petrus HTBM, Budhijanto W, Sulisty H. 2017. LITHIUM RECOVERY OF SPENT LITHIUM-ION BATTERY USING BIOLEACHING FROM LOCAL SOURCES MICROORGANISM. *Rasayan Journal of Chemistry*. doi:10.7324/RJC.2017.1031767.

Huang Y, Wang R. 2019. Highly Effective and Low-Cost Ion-Imprinted Polymers Loaded on Pretreated Vermiculite for Lithium Recovery. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 58(27):12216–12225. doi:10.1021/acs.iecr.9b01244.

Khalil A, Mohammed S, Hashaikeh R, Hilal N. 2022. Lithium recovery from brine: Recent developments and challe-

- nges. *Desalination*. 528:115611. doi:[10.1016/j.desal.2022.115611](https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.115611).
- Lide DR. 2007. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 87th ed Editor-in-Chief: David R. Lide (National Institute of Standards and Technology). CRC Press/Taylor and Francis Group: Boca Raton, FL. 2006. 2608 pp. 139.95. ISBN 0-8493-0487-3. *Journal of the American Chemical Society*. 129(3):724–724. doi:[10.1021/ja069813z](https://doi.org/10.1021/ja069813z).
- Murodjon S, Yu X, Li M, Duo J, Deng T. 2020. Lithium Recovery from Brines Including Seawater, Salt Lake Brine, Underground Water and Geothermal Water. In: *Thermodynamics and Energy Engineering*. IntechOpen. doi:[10.5772/intechopen.90371](https://doi.org/10.5772/intechopen.90371).
- Opitz A, Badami P, Shen L, Vignarooban K, Kannan AM. 2017. Can Li-Ion batteries be the panacea for automotive applications? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 68(October 2016):685–692. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.019>.
- Qiu Y, Ruan H, Tang C, Yao L, Shen J, Sotto A. 2019. Study on recovering high-concentration lithium salt from lithium-containing wastewater using a hybrid reverse osmosis (RO)-electrodialysis (ED) process. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 7(15):13481–13490. doi:[10.1021/acssuschemeng.9b03108](https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b03108).
- Seidell A. 1940. Solubilities of inorganic and metal organic compounds: a compilation of quantitative solubility data from the periodical literature.
- Sujoto VSH, Sutijan, Astuti W, Sumardi S, Louis ISY, Petrus HTBM. 2022. Effect of Operating Conditions on Lithium Recovery from Synthetic Geothermal Brine Using Electrodialysis Method. *Journal of Sustainable Metallurgy*. 8(1):274–287. doi:[10.1007/s40831-021-00488-3](https://doi.org/10.1007/s40831-021-00488-3).
- Sun Y, Wang Q, Wang Y, Yun R, Xiang X. 2021. Recent advances in magnesium/lithium separation and lithium extraction technologies from salt lake brine. *Separation and Purification Technology*. 256:117807. doi:[10.1016/j.seppur.2020.117807](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117807).
- Sutijan S, Wahyudi S, Ismail MF, Mustika PCB, Astuti W, Prasetya A, Petrus HTBM. 2022. Forward Osmosis to Concentrate Lithium from Brine: The Effect of Operating Conditions (pH and Temperature). *International Journal of Technology*. 13(1):136. doi:[10.14716/ijtech.v13i1.4371](https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i1.4371).
- Wang H, Du B, Wang M. 2018. Study of the Solubility, Supersolubility and Metastable Zone Width of Li₂CO₃ in the LiCl-NaCl-KCl-Na₂SO₄ System from 293.15 to 353.15K. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 63(5):1429–1434. doi:[10.1021/acs.jced.7b01012](https://doi.org/10.1021/acs.jced.7b01012).
- Žeželj B, Dimovski P. 2019. Leaching requirements for salt-affected soils of West Nubian valley of Nile River (North Sudan). *Zemljiste i biljka*. 68(1):24–35. doi:[10.5937/zemlj1901024q](https://doi.org/10.5937/zemlj1901024q).
- Zhang Y, Wang L, Sun W, Hu Y, Tang H. 2020. Membrane technologies for Li⁺/Mg²⁺ separation from salt-lake brines and seawater: A comprehensive review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 81:7–23. doi:[10.1016/j.jiec.2019.09.002](https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.09.002).