

Analisa Pemanfaatan Kembali *Brine* (Limbah Hasil Pengolahan Desalinasi Air Laut) sebagai Langkah Minimalisasi Pencemaran Sebelum Dibuang ke Badan Air

Ario Wisnu Wicaksono*) dan Ika Widyastuti

Balai Prasarana Permukiman Wilayah Kalimantan Utara, Direktorat Jenderal Cipta Karya,
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

*) *Corresponding author:* arioww@pu.go.id

Abstract

Water scarcity is a current concern become a current issue all over the world, but little is known or cared about how it has evolved over time. Global water scarcity is driven by water quantity and quality issues, as well as technology to reduce the number of people suffering from water scarcity as an urgently needed. The purpose of this paper is to provide information on how to minimize brine which is a by-product of seawater treatment plants. This paper is carried out by analyzing several previous papers on Brine Reuse Analysis then by the author it is reprocessed by adding a few points of waste minimization and reuse. Based on the results of the analysis, the by-product of seawater treatment plants, before being discharged into water bodies can be reprocessed, into caustic soda for chemical purposes, can be applied for irrigation and agricultural purposes, then aviation industry for de-icing purposes in winter and used by power plants, oil refineries, chemical plants, and other facilities that often require large amounts of water. Based on the results, it can be concluded that brine as a by-product can be utilized into several other products to minimize before being discharged into water bodies.

Abstrak

Kelangkaan air adalah kekhawatiran yang saat ini menjadi isu terkini di seluruh dunia, tetapi sedikit yang diketahui dan yang peduli tentang bagaimana hal itu berkembang dari waktu ke waktu. Kelangkaan air global didorong oleh masalah kuantitas dan kualitas air, serta teknologi untuk mengurangi jumlah orang yang menderita kelangkaan air sebagai kebutuhan mendesak. Tujuan dari makalah ini adalah untuk memberikan informasi tentang bagaimana meminimalisir limbah *brine* yang menjadi hasil samping dari instalasi pengolahan air laut (desalinasi). Makalah ini dilakukan dengan cara menganalisis beberapa makalah sebelumnya tentang analisa pemanfaatan kembali *brine* kemudian oleh penulis diolah kembali dengan menambahkan beberapa poin minimalisasi limbah dan pemanfaatan kembali. Berdasarkan hasil analisis studi, hasil samping instalasi pengolahan air berbasis desalinasi yaitu *brine*, sebelum dibuang ke badan air dapat diolah kembali antara lain menjadi soda kaustik untuk keperluan kimia, dapat diaplikasikan pada lahan untuk irigasi dan tujuan pertanian, lalu untuk industri penerbangan untuk tujuan de-icing pada saat musim dingin serta digunakan oleh pembangkit listrik, kilang minyak, pabrik kimia, dan fasilitas lainnya yang sering membutuhkan konsumsi air dalam jumlah besar. Berdasarkan hasil analisa tersebut, dapat disimpulkan bahwa *brine* sebagai produk hasil samping dapat dimanfaatkan menjadi beberapa produk lainnya untuk meminimalisir limbah sebelum dibuang ke badan air.

Kata Kunci : *Badan air, brine, desalinasi, limbah, minimalisasi*

PENDAHULUAN

Kelangkaan air adalah kekhawatiran yang saat ini menjadi isu terkini di seluruh dunia, tetapi sedikit yang diketahui dan yang peduli tentang bagaimana hal itu berkembang dari waktu ke waktu [1,2]. Kelangkaan air global didorong oleh masalah kuantitas dan kualitas air, serta teknologi untuk mengurangi jumlah orang yang menderita kelangkaan air sebagai kebutuhan mendesak [3,4,5].

Biasanya, solusi kelangkaan air berfokus pada mengurangi penggunaan air sektoral (misalnya memperbaiki efisiensi kebocoran air perpipaan) atau dengan meningkatkan ketersediaan air (misalnya meningkatkan kapasitas penyimpanan *reservoir*). [6,7]. Teknologi yang sesuai dengan kuantitas air dan tuntutan kualitas air, seperti desalinasi air laut dan penggunaan kembali hasil samping air limbah yang diolah, berkembang pesat [8,9]. Sementara beberapa langkah pertama telah dilakukan untuk menerapkan desalinasi air laut untuk menyelesaikan masalah kelangkaan air beberapa kali mengalami permasalahan dalam hasil buangan ke badan air yang berbahaya [10], penilaian ini mengabaikan desalinasi perairan pedalaman (payau, sungai) dan sumber lainnya (misalnya air limbah, air asin), yang turut berkontribusi hingga hampir 40% dari penggunaan air desalinasi di seluruh dunia [11].

Brine adalah limbah yang dihasilkan oleh proses desalinasi yang terdiri dari berbagai komponen.. Komponen *brine* diantaranya terdiri dari garam inorganik (*sodium chloride* (NaCl), *calcium chloride* (CaCl₂), and *magnesium chloride* (MgCl₂)), metal yang dihasilkan oleh korosi (kemungkinan mengandung besi, *chromium*, nikel, and *molybdenum* jika fasilitas yang digunakan memiliki kualitas stainless steel yang rendah), nutrien (ammonia, nitrat, and fosfor), bahan kimia *pretreatment* (zat adiktif anti kerak (*ethylenediaminetetraacetic acid*: EDTA, *sodium hexametaphosphate*), zat organik terhalogenasi (*trihalomethanes*, hasil dari penambahan klorin)), dan bahan kimia pembersih (*acidic solutions*, dan detergen yang digunakan untuk membersihkan membran) [12,13,14]. *Brine* memiliki total tingkat konsentrasi garam terlarut sebesar 55.000 mg/L dari *Total Dissolved Solids* (TDS) dalam aliran air. Kandungan kimia dalam *brine* tergantung pada berbagai faktor seperti *feed water* dan *permeate water*, tipe proses desalinasi, metode *pretreatment*, dan prosedur pembersihan.

Dampak pembuangan *brine* hasil proses desalinasi tergantung dari lokasi geografis, kualitas, dan volume *brine*. Di antara pembuangan konvensional *brine* antara lain dibuang pada air permukaan, sumur dalam, pengolahan tanah, danau evaporasi, dan kristalisasi konvensional [15]. Dampak pembuangan *brine* secara konvensional dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada Instalasi Pengolahan Air Laut atau desalinasi air laut, produk samping dari ekstraksi air tawar adalah air garam dengan konsentrasi yang lebih tinggi dan unsur lainnya atau yang biasa disebut *brine*. Dalam proses desalinasi, sejumlah besar elemen yang berbeda seperti klorin, tembaga sulfat, natrium bisulfat, besi klorida, asam sulfat, dll ditambahkan sebelum dan sesudah penyaringan air [16,17,18]. Hasil ekstraksi yang dihasilkan berupa *brine* kemudian dibuang ke badan air di sekitarnya. Tidak diragukan lagi bahwa injeksi garam dan kontaminan lainnya dapat berdampak serius pada bahan kimia, biologis, dan proses fisik. Pada aspek teknis dari proses desalinasi, metode pembuangan, peraturan dan dampak air garam pada fisika dan biokimia lingkungan laut, hasil dari *brine* tersebut mengandung banyak yang mengakibatkan ekosistem dan lingkungan kehidupan di laut sekitar Instalasi Pengolahan Air Laut menjadi mati [19,20,21,22,23]. Pada beberapa studi, berdasarkan beberapa model penelitian dan eksperimen, ada hubungan antara hasil samping *brine* pada Instalasi Pengolahan Air Laut/desalinasi dengan kenaikan tinggi gelombang pada beberapa lokasi di sekitar Instalasi Pengolahan Air Laut/desalinasi [24,25,26].

Tabel 1. Dampak Pembuangan *Brine* Secara Konvensional

Metode Pembuangan Limbah	Dampak Lingkungan
Pembuangan ke permukaan air	Mengakibatkan polusi pada kehidupan air laut dengan mengubah kadar salinitas dan pH
Pembuangan ke saluran air	Berpotensi membahayakan lingkungan akibat kandungan TDS yang tinggi
Injeksi sumur dalam	Mengakibatkan polusi pada akuifer air disekitarnya dan kontaminasi air tanah. Tidak cocok untuk negara yang memiliki tingkat kegempaan tinggi
Kolam evaporasi	Menyebabkan perkolasi pada akuifer air dibawah kolam evaporasi dan merusak kualitas air
<i>Land application</i>	Hanya dapat mengairi tanaman dengan tingkat toleransi TDS lebih tinggi dari 2000 g/L. Perkolasi air dan limpasan air dapat meningkatkan salinitas akuifer yang dapat menyebabkan dampak negatif pada akuifer air tanah
Kristalisasi konvensional	Pemulihan dan daur ulang limbah metal bersifat objektif sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan dan menaikkan nilai jual limbah <i>brine</i>

Tujuan dari makalah ini adalah untuk memberikan informasi tentang bagaimana meminimalisir limbah *brine* yang menjadi hasil samping dari instalasi pengolahan air laut (desalinasi). Makalah ini dilakukan dengan cara menganalisis beberapa makalah sebelumnya tentang analisa pemanfaatan kembali *brine* kemudian oleh penulis diolah kembali dengan menambahkan beberapa poin mengenai minimalisasi limbah dan pemanfaatan kembali.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan oleh penulis yaitu dengan metode deskriptif kualitatif. Metode deskriptif kualitatif adalah metode penelitian yang berdasarkan pada filsafat *postpositivisme* digunakan untuk meneliti pada kondisi objek yang alamiah (sebagai lawannya adalah eksperimen) dimana peneliti adalah sebagai instrumen kunci teknik pengumpulan data dilakukan secara triangulasi (gabungan), analisis data bersifat induktif/kualitatif, dan hasil penelitian kualitatif lebih menekankan makna daripada generalisasi. Penelitian deskriptif kualitatif bertujuan untuk menggambarkan, melukiskan, menerangkan, menjelaskan dan menjawab secara lebih rinci permasalahan yang akan diteliti dengan mempelajari semaksimal mungkin seorang individu, suatu kelompok atau suatu kejadian [27].

Tahapan yang dilakukan penulis dalam menyusun karya tulis ini yaitu melakukan studi literatur, mengumpulkan data, menganalisis data dan membandingkan berbagai studi literatur untuk menghasilkan jawaban permasalahan yang diinginkan. Kemudian penulis melakukan analisis dengan menambahkan poin-poin pengurangan dan daur ulang *brine*.

Objek penelitian karya tulis ini adalah produk sampingan desalinasi yaitu *brine*. Karya tulis ini berfokus pada metode untuk meminimalisir dampak *brine* dan mendaur ulang *brine*, sehingga dapat meminimalisir dampak *brine* dan menambah nilai jual produk hasil sampingan *brine*. Data yang digunakan dalam penulisan karya tulis ini adalah data sekunder. Data bersumber dari berbagai literatur seperti jurnal, website, buku, dan sumber media informasi lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari beberapa hasil analisis studi, hasil samping instalasi pengolahan air berbasis desalinasi yaitu *brine*, sebelum dibuang ke badan air dapat diolah kembali [28]. Hasil olahan yang paling umum dijumpai yaitu diolah menjadi soda kaustik atau Natrium Hidroksida (NaOH)[29,30]. Soda kaustik memiliki banyak sekali kegunaan baik internal dan di luar instalasi pengolahan air berbasis desalinasi. Secara internal, soda kaustik meningkatkan pH. Pada pH yang lebih tinggi, beberapa senyawa lebih baik ditolak oleh membran RO[31,32]. Soda kaustik digunakan di pabrik SWRO (*Sea Water Reverse Osmosis*) untuk meningkatkan tingkat *rejection* dari boron sebagai bagian dari deklorinasi air laut [33]. Untuk mengurangi biaya yang terkait dengan pengelolaan air garam, telah diusulkan bahwa pengolahan air garam dapat digabungkan dengan produksi natrium hidroksida (NaOH) [34,35]. NaOH adalah bahan kimia penting melayani berbagai tujuan dalam desalinasi, sebagian besar terkait dengan peningkatan pH. Dengan menaikkan pH selama *reverse osmosis* (RO) — teknik utama untuk desalinasi air — garam mineral seperti CaCO₃ dapat menjadi jenuh dalam limbah yang menyebabkan mereka mengendap ke membran [36]. Secara global, produksi NaOH dan HCl dari proses klor-alkali adalah aktivitas industri skala besar yang menghasilkan pendapatan sekitar US\$80 miliar pada tahun 2018 [37] dengan menggunakan hampir 50% dari produksi garam tahunan dunia. Metode produksi memerlukan penggunaan garam NaCl murni untuk membuat larutan jenuh yang dielektrolisis untuk menghasilkan NaOH dan HCl [38]. Namun, dengan menggunakan metode DE (*Direct Electrolysis*) dan BMED (*bipolar-membrane electro dialysis*) dapat diimplementasikan secara langsung pada air garam (*brine*) hasil samping desalinasi air laut tanpa aliran garam NaCl murni [39,40,41]. Dengan menggunakan aliran limbah dari desalinasi air untuk menghasilkan bahan kimia bernilai tinggi yang dapat dipasarkan, DE dan BMED dapat memberikan jalan baru dan berkelanjutan untuk produksi bahan kimia di desalinasi air laut dan industri klor-alkali [42,43]. Tergantung pada permintaan pasar lokal untuk air dan bahan kimia (NaOH dan HCl), pabrik desalinasi dan DE dan BMED dapat digabungkan dengan tepat untuk menargetkan produksi baik kimia dan industri pangan [44].

Dalam beberapa situasi, hasil samping *brine* dapat digunakan untuk vegetasi seperti taman, lapangan golf, dan irigasi rumput, dan aplikasi penggunaan ulang *brine* di lahan dapat menyesuaikan dengan kepentingan pemilik lahan [45,46]. Proses ini juga dapat memberikan nutrisi yang dibutuhkan tanaman. Faktor yang berbeda mempengaruhi pemilihan opsi ini seperti keberadaan dan kualitas tanah, biaya yang berkaitan dengan pengenceran air, biaya peralatan irigasi, tingkat infiltrasi, kualitas irigasi yang diinginkan, interval toleransi salinitas untuk vegetasi yang diinginkan, dan peraturan kualitas air tanah [47,48,49]. Berdasarkan *Food and Agriculture Organization* (FAO) Perserikatan Bangsa-Bangsa [50], batas konsentrasi yang diatur dari ion Ca, Mg, dan Na untuk mengairi tanaman umumnya masing-masing adalah 400, 60, dan 900 mg/L. Meskipun *brine* mungkin memiliki dampak negatif pada tanah dan air tanah ketika dibuang di tanah, penggunaan kembali *brine* yang berasal dari air limbah ternak dalam aplikasi

pertanian sebagai pupuk cair dapat direkomendasikan [51,52,53]. Rekomendasi ini hanya diterapkan bila tidak ada mikroba patogen dalam sampel yang telah diteliti oleh petugas peternakan yang kompeten [54]. Dampak buruk pada *akuifer* bawah tanah telah ditemukan yaitu ketika *brine* langsung dibuang di beberapa tanah dengan tanah permeabel yang mengandung kandungan liat rendah dan bahan organik [55,56]. Peningkatan konsentrasi *brine* dapat mengurangi permeabilitas tanah dan akibatnya dapat menurunkan hasil panen [57]. Oleh karena itu, berdasarkan interval toleransi salinitas tanaman untuk ion yang berbeda, *brine* harus diencerkan dengan air tawar hingga kisaran yang dapat ditoleransi [58,59].

Deicing adalah proses menghilangkan salju, es atau es dari permukaan [60]. *Anti-icing* adalah aplikasi bahan kimia yang tidak hanya menghilangkan es tetapi juga tetap berada di permukaan dan terus menunda pembentukan es untuk jangka waktu tertentu, atau mencegah pelekatan es untuk mempermudah pemindahan secara mekanis [61]. *Deicing* dapat dilakukan dengan metode mekanis (mengikis, mendorong); melalui penerapan panas; dengan menggunakan bahan kimia kering atau cair yang dirancang untuk menurunkan titik beku air (berbagai garam atau air asin, alkohol, glikol); atau dengan kombinasi dari teknik yang berbeda ini [62,63,64,65]. Bahan kimia *Deicing* berbasis klorida, yang dikenal sebagai garam jalan, memainkan peran penting dalam memastikan keselamatan berkendara di musim dingin kondisi, terutama di jalan raya selama cuaca dingin dan bersalju. Namun, ada yang tumbuh kekhawatiran tentang dampak garam jalan terhadap infrastruktur transportasi, kendaraan bermotor, dan lingkungan [66,67]. Meskipun *brine* NaCl adalah komoditas bernilai relatif rendah, lokasi produksi sering tidak dekat konsumen dan karenanya biaya transportasi secara signifikan menambah harga [68]. Pengiriman biaya untuk transportasi laut, kereta api, atau truk bisa menjadi faktor penting penentu ketika mencoba untuk mengamankan sumber pasokan [69,70]. Di beberapa kasus, memompa air *brine* NaCl melalui pipa dapat menjadi solusi paling ekonomis ketika jarak relatif pendek [71]. Pengiriman massal besar *brine* NaCl kering di kapal barang laut atau sungai biaya tongkang relatif rendah tetapi dibatasi oleh titik-titik asal dan konsumsi [72].

Produksi energi listrik baik yang bersumber dari energi yang terbarukan maupun tidak terbarukan, membutuhkan jumlah air yang signifikan jumlahnya, dan pada tiap tahapannya mulai dari ekstraksi, pengolahan, distribusi, dan penggunaan air serta pengolahan air limbah memakan banyak jumlah energi dan air untuk membuat suhu peralatan yang berada dalam pembangkit listrik berada dalam lingkup suhu yang ideal [73,74,75]. Ini akan semakin memperburuk keseimbangan antara pasokan dan permintaan air bersih, yang akan bersamaan akan meningkatnya juga kebutuhan air bersih karena faktor pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan peningkatan standar hidup, bersama dengan faktor lainnya [76,77].

Sebagian besar sistem pendingin menggunakan air bersih sebagai fluida perpindahan panas karena ketersediaannya yang melimpah dan biaya rendah, tetapi membutuhkan sejumlah besar energi untuk transportasi air dari sumber ke instalasi, terutama untuk pendingin yang dipasang pada ketinggian [78,79,80]. Sistem pendingin terdiri dari dua subsistem, yaitu pendingin jaringan dan jaringan pompa, yang biasanya dioptimalkan secara terpisah [81,82]. Beberapa strategi dapat digunakan untuk meningkatkan air dan efisiensi energi dalam operasi pendinginan, termasuk peningkatan penggunaan air daur ulang hasil buangan yaitu *brine*, dan penangkapan kembali energi [83,84,85]. Sebagian besar energi yang dibutuhkan hilang karena gesekan dan penurunan tekanan atau dibuang sebagai energi panas limbah atau *brine* [86]. Dengan menggunakan *brine* yang direkayasa untuk meningkatkan perpindahan panas dan mengurangi gesekan, berpotensi meningkatkan efisiensi energi dengan sebagai sebanyak 10% [87,88]. Sementara penggunaan kembali *brine* yang direkayasa adalah solusi berkelanjutan untuk kelangkaan dan efisiensi penggunaan air untuk kebutuhan pembangkit listrik, pertimbangan harus ditempatkan pada energi konsumsi untuk teknologi pengolahan untuk menghilangkan garam dan mineral lain dari *brine* [89,90,91]. Konsumsi energi untuk teknologi pengolahan sangat tergantung pada kualitas sumber air dan efisiensi pengolahan yang ditargetkan (misalnya, rasio garam dengan air yang

akan digunakan) [92,93]. Teknologi pengolahan *brine* biasanya digunakan untuk meningkatkan sumber air, dan untuk mempertahankan bagian atas konvensional batas baku mutu setiap komposisi yang menjadi perhatian (misalnya, TDS) untuk menara pendingin pembangkit. Secara umum, teknologi air dapat dibagi menjadi tiga kategori [94,95,96]: (i) pra-perawatan untuk mengobati sumber air yang memenuhi kriteria kimia; (ii) pengolahan pra dan aliran samping untuk mengolah air untuk mencegah pengotoran dan pendangkalan; dan (iii) pasca perawatan untuk meminimalkan atau menghilangkan blowdown.

Hasil produk sampingan dari Instalasi Pengolahan Air Laut/desalinasi berupa *brine* dapat juga digunakan atau dijual untuk berbagai aplikasi industri selain yang telah disebutkan diatas, seperti pembuatan deterjen [97,98], pewarnaan tekstil [99,100,101], produksi bahan-bahan kimiawi [102], pengawetan pangan [103], dan masih banyak kegunaan lainnya untuk menjadikan *brine* sebelum benar-benar dibuang ke badan air yang tentu akan membahayakan biota laut atau lingkungan sekitar tempat *brine* itu dibuang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil beberapa analisa dan review dari beberapa penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa *brine* sebagai produk hasil samping dari Instalasi Pengolahan Air Laut/desalinasi dapat dimanfaatkan menjadi beberapa produk lainnya untuk meminimalisir limbah sebelum dibuang ke badan air, dan tentunya apabila hasil samping berupa *brine* tersebut berhasil diminimalisir berupa diolah menjadi beberapa produk yang berguna sebelum dibuang ke badan air, tentu akan membuat lingkungan hidup di sekitar lokasi Instalasi Pengolahan Air tidak mati dan tetap sesuai dengan baku mutu tentang pencemaran yang telah ditentukan oleh Pemerintah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang mendukung penyusunan karya tulis ini terutama Kementerian PUPR dalam memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada seluruh pegawai untuk mengikuti kegiatan pengembangan profesi diantaranya adalah bidang karya tulis/karya ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Kummu, J. H. A. Guillaume, H. D. Moel, S. Eisner, M. Florke, M. Porkka, S. Siebert, T. I. E. Veldkamp, and P. J. Ward, “The world’s road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability,” *Scientific Reports*, 2016, 6, 38495.
- [2] J. A. Dearing, R. A. Wang, K. Zhang, J. G. Dyke, H. Haberl, M. S. Hossain, P. G. Langdon, T. M. Lenton, K. Raworth, S. Brown, J. Carstensen, M. J. Cole, S. E. Cornell, T. P. Dawson, C. P. Doncaster, F. Eigenbord, M. Florke, E. Jeffers, and G. M. Poppy “Safe and just operating spaces for regional social-ecological systems,” *Global Environmental Change* 28, 227–238, 2014.
- [3] Dankers R et al, “First look at changes in flood hazard in the inter-sectoral impact model intercomparison project ensemble”, *Proc. Natl Acad. Sci.* 111 3257–61, 2014.
- [4] Prudhomme C et al, “Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment,” *Proc. Natl Acad. Sci.* 111 3262–7, 2014.

- [5] Trenberth K E et al, “Global warming and changes in drought Nature Climate Change,” 2014.4 17–22.
- [6] Y. Wada, D. Wisser, and M. F. P. Bierkens, “Global modeling of withdrawal, allocation and consumptive use of surface water and groundwater resources”, *Earth Syst. Dynam.*, vol. 5, pp. 15–40, <https://doi.org/10.5194/esd-5-15-2014>, 2014.
- [7] J. Jägermeyr, D. Gerten, J. Heinke, S. Schaphoff, M. Kummu, and W. Lucht, “Water savings potentials of irrigation systems: global simulation of processes and linkages, *Hydrol.*” *Earth Syst. Sci.*, vol. 19, pp. 3073–3091, <https://doi.org/10.5194/hess-19-3073-2015>, 2015.
- [8] V. G. Gude, “Desalination and water reuse to address global water scarcity,” *Rev Environ Sci Biotechnol* 16, 591–609, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9449-7>.
- [9] E. Jones *et al*, “The State of desalination and brine production: A global outlook, *Science of The Total Environment.*”, Vol. 657, pp. 1343-1356, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>, 2019.
- [10] N. Hanasaki, S. Yoshikawa, K. Kakinuma, and S. Kanae, “A seawater desalination scheme for global hydrological models *Hydrol.*” *Earth Syst. Sci.* Vol.20 No. 41 pp 43–57, 2016.
- [11] Parkinson *et al*, “Balancing clean water-climate change mitigation trade-offs.”, *Environmental Research Letters*. 14. 10.1088/1748-9326/aaf2a3, 2019.
- [12] N. Kress, Y. Gertner, E. S. Frider, “Seawater Quality at the Brine Discharge Site from Two Mega Size Seawater Reverse Osmosis Desalination Plants in Israel (Eastern Mediterranean).”, *Water Res*, 2020.
- [13] O. Ogunbiyi, J. Saththasivam, D. A. Masri, Y. Manawi, J. Lawler, X. Zhang, and Z. Liu, “Sustainable Brine Management from the Perspectives of Water, Energy and Mineral Recovery: A Comprehensive Review. *Desalination*”, Vol. 513, 2021.
- [14] I. Sola, D. Zarzo, A. Carratalá, Y. F. Torquemada, J. A. D. L. O. Carretero, Y. D. P. Ruso, and J. L. S. Lizaso, “Review of the Management of Brine Discharges in Spain. *Ocean Coast. Manag*”, Vol. 196, 2020.
- [15] S. N. Backer, I. Bouaziz, N. Kallayi, R. T. Thomas, G. Preethikumar, M. S. Takriff, T. Laoui, and M. A. Atieh, “Review: Brine Solution: Current Status, Future Management and Technology Development.”, *Sustainability*, Vol. 14, 2022.
- [16] E. J. D. Campos *et al*, “Impacts of brine disposal from water desalination plants on the physical environment in the Persian/Arabian Gulf,” *Environmental Research Communications*, Vol. 2, No. 1, 2020.
- [17] E. Paleologos, M. T. A. Nahyan, and S. Farouk, “Risks and threats of desalination in the arabian gulf.”, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018.
- [18] H. D. Ibrahim and E. A. B. Eltahir, “Impact of brine discharge from seawater desalination plants on persian/arabian gulf salinity.” *Environ*, Vol. 145, 2019.

- [19] N. Ahmad and R. E. Baddour, “A review of sources, effects, disposal methods, and regulations of brine into marine environments Ocean & Coastal Management.”, Vol. 87, pp. 1–7, 2014.
- [20] Joydas, V. Thadickal, A.Q. Mohammad, P. M. Karupphasamy, T. T. M. Ashraf, M. Said, Ali, K. A. Abdulkader, A. Qasem and K. K. Periyadan, “Status of macrobenthic communities in the hypersaline waters of the Gulf of Salwa, Arabian Gulf.” Journal of Sea Research, Vol. 99, pp. 34-46, 2015.
- [21] L. Wonhyun and K. James, “EFFECTS OF DESALINATION ON HYDRODYNAMIC PROCESS IN PERSIAN GULF,” Coastal Engineering Proceedings, Vol. 1, No. 3, 2018.
- [22] Frank, Hila, K. E. Fussmann, E. Rahav and E. B. Zeev. “Chronic effects of brine discharge form large-scale seawater reverse osmosis desalination facilities on benthic bacteria.” Water research, Vol. 151, pp. 478-487, 2019 .
- [23] Petersen *et al*, “Biological and Physical Effects of Brine Discharge from the Carlsbad Desalination Plant and Implications for Future Desalination Plant Constructions,” Water, 2019.
- [24] M. Baum, B. Gibbes, A. Grinham, S. Albert, P. Fisher, and D. Gale, “Near-field observations of an offshore multiport brine diffuser under various operating conditions,” J. Hydraul, Vol. 144, 2018.
- [25] A. C. Chow, W. Verbruggen, R. Morelissen, Y. Al-Osairi, P. Ponnumani, H. M. Lababidi, B. Al-Anzi, and E. E. Adams, “Numerical prediction of background buildup of salinity due to desalination brine discharges into the northern Arabian Gulf,” Water, vol. 11, no. 11, p. 2284, 2019.
- [26] P. Díaz, *et al*, “Modeling Nonconfined Density Currents Using 3D Hydrodynamic Models,” ISH Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 145, 2018.
- [27] Sugiyono, Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D, Bandung: PT Alfabet, 2018.
- [28] D. Ariono *et al*, "Brine Effluents: Characteristics, Environmental Impacts, and Their Handling." Journal of Engineering and Technological Sciences, vol. 48, no. 4, pp. 367-387, 2016.
- [29] Thiel, P. Gregory, A. Kumar, A. G. González, and J. H. V. Lienhard, "Utilization of Desalination Brine for Sodium Hydroxide Production: Technologies, Engineering Principles, Recovery Limits and Future Directions." ACS Sustainable Chemistry and Engineering, Vol. 5, No. 12 , 2017.
- [30] Morillo, José, J. Usero, D. Rosado, H. E. Bakouri, A. Riaza, and F. J. Bernaola, “Comparative Study of Brine Management Technologies for Desalination Plants.” Desalination, Vol. 336 pp. 32–49, 2014.
- [31] P. Xu, T. Cath, A. Robertson, M. Reinhard, J. Leckie, and J. Drewes, “Critical Review of Desalination Concentrate Management, Treatment and Beneficial Use.” Environmental Engineering Science, Vol. 30, pp. 502-514. 10.1089/ees.2012.0348, 2013.

- [32] P. A. Gonzalez, A. M. Urtiaga, R. Ibanez, and I. Ortiz, “State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates.” *Water Res*, Vol. 46, pp. 267–283, 2012.
- [33] *Chemicals Used for Treatment of Water Intended for Human Consumption. Sodium Hydroxide*; European Standard EN 896:2012; European Committee for Standardization: Brussels, 2013.
- [34] A. Kumar *et al*, “Direct electrosynthesis of sodium hydroxide and hydrochloric acid from brine streams.”, *Nat Catal*, Vol. 2, pp. 106–113, 2019.
- [35] F. Du *et al*, “Sodium Hydroxide Production from Seawater Desalination Brine: Process Design and Energy Efficiency.”, *Environmental Science Technology*, Vol. 52, pp. 5949-5958, doi:10.1021/acs.est.8b01195, 2018.
- [36] Y. Yang, X. Gao, A. Fan, L. Fu, and C. Gao, “An Innovative Beneficial Reuse of Seawater Concentrate Using Bipolar Membrane Electrodialysis.”, *J. Membr. Sci.*, Vol. 449, pp. 119-126, doi:10.1016/j.memsci.2013.07.066, 2014.
- [37] O. Barron *et al*, “Feasibility Assessment of Desalination Application in Australian Traditional Agriculture.”, *Desalination*, Vol. 364, pp. 33-45, doi:10.1016/j.desal.2014.07.024, 2015.
- [38] H. W. Chung, K. G. Nayar, J. Swaminathan, K. M. Chehayeb, and V. J. H. Lienhard, “Thermodynamic Analysis of Brine Management Methods: Zero-discharge Desalination and Salinity-gradient Power Production.”, *Desalination*, Vol. 404, pp. 291-303, doi:10.1016/j.desal.2016.11.022, 2017.
- [39] S. Burn, *et al*, “Desalination Techniques — A Review of the Opportunities for Desalination in Agriculture.”, *Desalination*, Vol. 364, pp. 2-16, doi:10.1016/j.desal.2015.01.041, 2015.
- [40] D. Zarzo, E. Campos, and P. Terrero, “Spanish Experience in Desalination for Agriculture.”, *Desalination Water Treatment*, Vol. 51, pp. 53-66, doi:10.1080/19443994.2012.708155, 2013.
- [41] G. P. Thiel, E. W. Tow, L. D. Banchik, H. W. Chung, and J. H. Lienhard, “Energy Consumption in Desalinating Produced Water from Shale Oil and Gas Extraction.”, *Desalination*, Vol. 366, pp. 94-112, doi:10.1016/j.desal.2014.12.038, 2015.
- [42] M. Reig *et al*, “Integration of nanofiltration and bipolar electrodialysis for valorization of seawater desalination brines: Production of drinking and waste water treatment chemicals.”, *Desalination*, Vol. 382, pp. 13–20, doi:10.1016/j.desal.2015.12.013, 2016.
- [43] J. R. Davis, Y. Chen, J. C. Baygents, and J. Farrell, “Production of acids and bases for ion exchange regeneration from dilute salt solutions using bipolar membrane electrodialysis.”, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, Vol. 3, pp. 2337–2342, doi:10.1021/acssuschemeng.5b00654, 2015.
- [44] M. Wang, K. K. Wang, Y. X. Jia, and Q. C. Ren, “The Reclamation of Brine Generated from Desalination Process by Bipolar Membrane Electrodialysis.”, *J. Membr. Sci.*, Vol.

- 452, pp. 54-61, doi:10.1016/j.memsci.2013.10.029, 2014.
- [45] M. J. G. Bellot, B. Lorente, M. F. Ortuño, S. Medina, A. G. Izquierdo, S. Bañón, and M. J. S. Blanco, “Recycled Wastewater and Reverse Osmosis Brine Use for Halophytes Irrigation: Differences in Physiological, Nutritional and Hormonal Responses of *Crithmum maritimum* and *Atriplex halimus* Plants.”, *Agronomy*, Vol. 11, pp. 627, 2021.
- [46] E. C. Dogan, A. Yasar, U. Sen, and C. Aydiner, “Water recovery from treated urban wastewater by ultrafiltration and reverse osmosis for landscape irrigation, *Urban Water Journal*, 13:6, 553-568, DOI: 10.1080/1573062X.2014.992917, 2016.
- [47] R. Katal, T. Y. Shen, I. Jafari, S. M. Panah, and M. H. D. A. Farahani, "An Overview on the Treatment and Management of the Desalination Brine Solution", in *Desalination - Challenges and Opportunities*. London, United Kingdom: IntechOpen, 2020 [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/72467> doi: 10.5772/intechopen.92661
- [48] P. Wongpan, K. G. Hughes, P. J. Langhorne, and I. J. Smith, “Brine convection, temperature fluctuations, and permeability in winter Antarctic land-fast sea ice. *Journal of Geophysical Research:Oceans*, 123, 216–230. <https://doi.org/10.1002/2017JC012999>, 2018.
- [49] Rodríguez *et al*, “Comparison of evaporation rates for seawater and brine from reverse osmosis in traditional salt works: Empirical correlations,” *Water Science & Technology Water Supply*. 133. 234. 10.2166/ws.2012.153, 2012.
- [50] Malakar, Arindam, D. S. Daniel, and R. Chittaranjan, "Irrigation Water Quality—A Contemporary Perspective" *Water* 11, no. 7: 1482. <https://doi.org/10.3390/w11071482>, 2019.
- [51] A. Subramani, E. Cryer, L. Liu, S. Lehman, Y. N. Robert, and J. G. Jacangelo, “Impact of intermediate concentrate softening on feed water recovery of reverse osmosis process during treatment of mining contaminated groundwater, *Separation and Purification Technology*,” Vol. 88, pp. 138-145, 2012.
- [52] H. Bhandary, C. Sabarathinam, and A. A. Khalid, “Occurrence of hypersaline groundwater along the coastal aquifers of Kuwait, *Desalination*,” Volume 436, 2018, Pages 15-27, ISSN 0011-9164, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.02.004>.
- [53] B. Pramanik, L. Shu, and V. Jegatheesan, “A review on the management and treatment of brine solutions.”, *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*. 3. 10.1039/C6EW00339G.G, 2017.
- [54] S. S. Lee *et al*, “Commercial versus synthesized polymers for soil erosion control and growth of Chinese cabbage,” *SpringerPlus*, Vol. 2, pp. 534, 2013.
- [55] M. Umar, F. Roddick, and L. Fan, “Assessing the potential of a UV-based AOP for treating high-salinity municipal wastewater reverse osmosis concentrate,” *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*. 68. 1994-9. 10.2166/wst.2013.417, 2013.
- [56] A. Panagopoulos, K. J. Haralambous, and M. Loizidou, “Desalination brine disposal methods and treatment technologies - A review,” *Science of The Total Environment*, Vol.

693, 2019.

- [57] N. M. Martel, J. J. S. Alonso, and S. O. P. Báez, “Reuse and management of brine in sustainable SWRO desalination plants, *Desalination and Water Treatment*,” 51:1-3, 560-566, DOI: 10.1080/19443994.2012.713567, 2013.
- [58] A. K. Fard, T. Rhadfi, M. Khraisheh, M. A. Atieh, M. Khraisheh, and N. Hilal, “Reducing flux decline and fouling of direct contact membrane distillation by utilizing thermal brine from MSF Desalination Plant,” *Desalination*, vol. 379, pp. 172–181, 2016.
- [59] N. Heck, A. Paytan, D. C. Potts, and B. Haddad, “Predictors of local support for a seawater desalination plant in a small coastal community, *Environmental Science & Policy*,” Vol. 66, 2016.
- [60] M. C. Argüelles, B. J. Kefford, C. Piscart, N. Prat, R. B. Schäfer, and C. J. Schulz, “Salinisation of rivers: An urgent ecological issue.”, *Environmental Pollution*, Vol. 173, pp. 157-167, ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.011>, 2013.
- [61] K. N. Nurwijayanti and R. Herlambang, ” Merancang Prototype Sistem Anti Icing Pada Leading Edge Wing Airfoil Clark Y Berbasis Arduino,” *Jurnal IKRA-ITH TEKNOLOGI* Vol 5 No 2 Bulan Juli 2021. 40-47, 2021.
- [62] S. Jungwirth, L. Cao, and S. Xianming, “Developing Locally Sourced Brine Additive for Anti-Icing,” Alaska University Transportation Center, Alaska Department of Transportation and Public Facilities, 2014.
- [63] B. Sharkh, A. Al-Amoudi, M. Farooque, C. Fellows, S. Ihm, S. Lee, S. Li, and N. Voutchkov, “Seawater desalination concentrate—a new frontier for sustainable mining of valuable minerals,” *npj Clean Water*. 5. 9. 10.1038/s41545-022-00153-6, 2022.
- [64] B. Bakshi, E. M. Doucette, and J. S. Kyser, “Centralized softening as a solution to chloride pollution: an empirical analysis based on Minnesota cities,” *PLOS One* 16, 0246688, 2021.
- [65] I. Durickovic, "NaCl Material for Winter Maintenance and Its Environmental Effect", in *Salt in the Earth*. London, United Kingdom: IntechOpen, [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/67752> doi: 10.5772/intechopen.86907, 2019.
- [66] M. S. Diallo, M. R. Kotte, and M. Cho, “Mining critical metals and elements from seawater: opportunities and challenges,” *Environ. Sci. Technol.* 49, 9390–9399, 2015.
- [67] C. A. Q. Jensen, F. Macedonio, and E. Drioli, “Membrane crystallization for salt recovery from brine - an experimental and theoretical analysis,” *Desalination Water Treat.* 57, 7593–7603, 2016.
- [68] A. Shahmansouri, J. Min, L. Jin, and C. Bellona, “Feasibility of extracting valuable minerals from desalination concentrate: a comprehensive literature review,” *J. Clean. Prod.* 100, 4–16 , 2015.
- [69] P. Loganathan, G. Naidu, and S. Vigneswaran, “Mining valuable minerals from seawater:

- a critical review,” *Environ. Sci. Water Res.* 3, 37–53, 2017.
- [70] A. Kumar *et al*, “Metals recovery from seawater desalination brines: technologies, opportunities, and challenges. *ACS Sustain*,” *Chem. Eng.* 9, 7704–7712, 2021.
- [71] R. H. E. M. Koppelaar and H. Koppelaar, “The ore grade and depth influence on copper energy input,” *Biophys. Econ. Sustain* 1, 1–16, 2016.
- [72] J. Crook and A. Mousavi, “The chlor-alkali process: a review of history and pollution,” *Environ. Forensics* 17, 211–217, 2016.
- [73] S. Pingping, E. Amgad, W. Michael, H. Jeongwoo, and J. H. Robert, “Estimation of U.S. refinery water consumption and allocation to refinery products.”, *Fuel*, Vol. 221, pp. 542-557, ISSN 0016-2361, <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.089>, 2018.
- [74] Water for Energy, *World Energy Outlook. Special Topic*, International Energy Administration, Water for Energy. <http://www.worldenergyoutlook.org/resources/water-energynexus/>; 2012.
- [75] K. Sanders and M. Webber, “Evaluating the energy consumed for water use in the United States,” *Environmental Research Letters*. 114145224. 70-34034. 10.1088/1748-9326/7/3/034034, 2012.
- [76] J. Teter, K. Tiedeman, G. Shankar, and M. S. Yeh, “Water Use Implications of California’s Future Transportation Fuels. Energy Research and Development Division Final Project Report,” CEC-500-2015-099. Prepared for California Energy Commission, November 2015.
- [77] J. Han, A. Elgowainy, M. Wang, and V. Divita, “Well-to-Wheels Greenhouse Gas Emissions Analysis of High-Octane Fuels with Various Market Shares and Ethanol Blending Levels. United States. <https://doi.org/10.2172/1212715>, 2015.
- [78] S. Y. Pan, S. W. Snyder, A. I. Packman, Y. J. Lin, and P. C. Chiang, “Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus,” *Water-Energy Nexus*, Vol. 1, No. 1, pp. 26-41, ISSN 2588-9125, <https://doi.org/10.1016/j.wen.2018.04.002>, 2018.
- [79] D. Attinger, C. Frankiewicz, A. R. Betz, T. M. Schutzius, R. Ganguly, A. Das, C. J. Kim, and C. M. Megaridis, “Surface engineering for phase change heat transfer: A review,” *MRS Energy Sustainability* 1, 2014.
- [80] S. Zhang, X. Zeng, A. Igartua, R. Vidal, and E. V. D. Heide, “Texture design for reducing tactile friction independent of sliding orientation on stainless steel sheet,” *Tribol. Lett.*, Vol. 65, 2017.
- [81] J. Ma, Y. Wang, and X. Feng, “Energy recovery in cooling water system by hydro turbines,” *Energy* 139, 329–340, 2017.
- [82] P. Rao, R. KostECKI, L. Dale, and A. Gadgil, “Technology and engineering of the water-energy nexus,” *Annu. Rev. Environ. Resour.* Vol. 42, pp. 407–437, 2017.

- [83] S. J. Altman, R. P. Jensen, M. A. Cappelle, A. L. Sanchez, R. L. Everett, H. L. Anderson, and L. K. McGrath, “Membrane treatment of side-stream cooling tower water for reduction of water usage,” *Desalination*, Vol. 285, pp. 177–183, 2012.
- [84] A. Hill, T. Hayes, and C. Sishtla, “Reclamation of Wastewater for Cooling Tower Operations,” Gas Technology Institute, 2014.
- [85] M. E. Walker, R. B. Theregowda, I. Safari, J. Abbasian, H. Arastoopour, D. A. Dzombak, M. K. Hsieh, and D. C. Miller, “Utilization of municipal wastewater for cooling in thermoelectric power plants: Evaluation of the combined cost of makeup water treatment and increased condenser fouling,” *Energy*, Vol. 60, pp. 139–147, 2013.
- [86] J. Meldrum, S. N. Anderson, H. Garvin, and J. Macknick, “Life Cycle Water Use for Electricity Generation: A Review and Harmonization of Literature Estimates,” *Environmental Research Letters*. 8. 10.1088/1748-9326/8/1/015031, 2013.
- [87] G. Destouni, F. Jaramillo, and C. Prieto, “Hydroclimatic shifts driven by human water use for food and energy production,” *Nat. Clim. Change*, Vol. 3, pp. 213–217, 2012.
- [88] F. Jaramillo, and G. Destouni, “Local flow regulation and irrigation raise global human water consumption and footprint,” *Science*, Vol. 350, pp. 1248–1251, 2015.
- [89] Z. Amjada and K. Demadis, “Mineral Scales and Deposits: Scientific and Technological Approaches.” Amsterdam: Elsevier, 2015.
- [90] X. Li, D. L. Chopp, W. A. Russin, P. T. Brannon, M. R. Parsek, and A. I. Packman, “In situ biomineralization and particle deposition distinctively mediate biofilm susceptibility to chlorine,” *Appl. Environ. Microbiol*, Vol. 82, pp. 2886–2892, 2016.
- [91] D. H. Nall and R. Sedlak, “Total dissolved solids in reclaimed water,” *ASHRAE J.*, pp. 28–38, 2013.
- [92] G. Amy, N. Ghaffour, Z. Li, L. Francis, R. V. Linares, T. Missimer, and S. Lattemann, “Membrane-based seawater desalination: Present and future prospects,” *Desalination*, Vol. 401, pp. 16–21, 2017.
- [93] S. Y. Pan, S. W. Snyder, H. W. Ma, Y. J. Lin, and P. C. Chiang, “Development of a resin wafer electrodeionization process for impaired water desalination with high energy efficiency and productivity,” *ACS Sustainable Chem. Eng*, Vol. 5, pp. 2942–2948, 2017.
- [94] P. Malek, J. M. Ortiz, and H. M. A. S. Herbrüggen, “Decentralized desalination of brackish water using an electro dialysis system directly powered by wind energy,” *Desalination*, Vol. 377, pp. 54–64, 2016.
- [95] T. Cui, Y. Zhang, W. Han, J. Li, X. Sun, J. Shen, and L. Wang, “Advanced treatment of triazole fungicides discharged water in pilot scale by integrated system: Enhanced electrochemical oxidation, upflow biological aerated filter and electro dialysis. *Chem. Eng. J*, Vol. 315, pp. 335–344, 2017.
- [96] N. C. Wright and A. G. Winter, “Justification for community-scale photovoltaic powered electro dialysis desalination systems for inland rural villages in India,” *Desalination*, Vol.

- 352, pp. 82–91, 2014.
- [97] W. M. Edmunds and P. L. Smedley, “Fluoride in Natural Waters,” *Essentials of Medical Geology*, pp. 311-336, 2013.
- [98] H. Kasedde, “Characterization of Raw Materials for Salt Extraction from Lake Katwe, Uganda. Department of Materials Science and Engineering School of Industrial Engineering and Management,” KTH, Royal Institute of Technology, 2013.
- [99] K. Blus, M. Gmurek, S. Ledakowicz, and L. Bilińska, “Brine Recycling from Industrial Textile Wastewater Treated by Ozone. By-Products Accumulation. Part 1: Multi Recycling Loop. *Water*. 11. 460. 10.3390/w11030460, 2019.
- [100] O. Gonzalez, B. Bayarri, J. Acena, S. Perez, and D. Barcelo, “Treatment technologies for wastewater reuse: Fate of contaminants of emerging concern. In *Advanced Treatment Technologies for Urban Wastewater Reuse*; Fatta-Kassinos, D., Dionysiou, D.D., Kummerer, K., Eds.; Springer: New York, NY, USA, pp. 7–33, 2016.
- [101] X. Wang, X. Cheng, D. Sun, Y. Ren, and G. Xu, “Fate and transformation of naphthylaminesulfonic azo dye Reactive Black 5 during wastewater treatment process,” *Environ. Sci. Pollut. Res*, Vol. 21, pp. 5713–5723, 2014.
- [102] R. F. Sidik, Kuswandi and A. Roesyadi, “Production and Hydrochemical characteristics of brine and salt at salt production area in Pamekasan,” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 493 012026, 2020.
- [103] F. Shahidi, A.G.P. Samaranayaka, and R.B. Pegg, “CURING : Brine Curing of Meat, *Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)*,” Academic Press, pp. 416-424, ISBN 9780123847348, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384731-7.00112-4>, 2014.