

## Potensi Bittern dalam Pengelolaan Limbah dan Aplikasi Berbasis Sumber Daya Kelautan

### *Bittern Potential in Waste Management and Marine Resource-Based Applications*

Mutiara Salsabiela\*

Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Petroleum Balongan

\*Korespondensi : mutiara.salsabiela62@gmail.com

#### Abstrak

Aktivitas pertambangan garam menghasilkan limbah produksi garam berupa bittern. Bittern berbentuk cairan kekuningan dan memiliki parameter khusus dalam bentuk tingkat konsentrasi, yang disebut °Be. Umumnya, °Be air laut adalah 26-29 °Be. Bittern berpotensi menimbulkan dampak lingkungan jika dibuang langsung ke perairan, terutama pada kualitas air dan ekosistem perairan sekitarnya. Disisi lain, bittern mengandung mineral dan senyawa kimia yang bermanfaat bagi berbagai aplikasi kehidupan seperti magnesium sulfat ( $MgSO_4$ ), natrium klorida ( $NaCl$ ), magnesium klorida ( $MgCl_2$ ), kalium klorida ( $KCl$ ), kalsium klorida ( $CaCl_2$ ), Natrium Bromida ( $NaBr$ ) dan unsur mikro seperti yodium, molybdenum, selenium, seng). Namun pemanfaatan bittern masih terbatas sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui potensi bittern dalam pengelolaan limbah dan aplikasi berbasis sumber daya kelautan. Kajian ini dilakukan dengan metode kualitatif yaitu semi-systematic literature review. Potensi penggunaan bittern dalam berbagai aplikasi dan aplikasi sumber daya kelautan diantaranya sebagai koagulan dalam pengolahan air limbah pengolahan ikan, pupuk alami dan struvite bagi tambak ikan dan campuran air perendam dan pengawet ikan.

**Kata Kunci:** Potensi, Bittern, Limbah, Kelautan

#### Abstract

*Salt farming activities produce salt production waste (bittern). Bittern is a yellowish liquid and has specific parameters in the form of concentration levels, called oBe. Generally, the oBe of seawater is 26-29 oBe. Bittern has the potential to cause environmental impacts if discharged directly into waters, especially on water quality and the surrounding aquatic ecosystem. On the other hand, bittern contains minerals and chemical compounds that are beneficial for various life applications such as magnesium sulfate ( $MgSO_4$ ), sodium chloride ( $NaCl$ ), magnesium chloride ( $MgCl_2$ ), potassium chloride ( $KCl$ ), calcium chloride ( $CaCl_2$ ), Sodium Bromide ( $NaBr$ ) and microelements such as iodine, molybdenum, selenium, zinc). However, the use of bittern is still limited so that research is needed to determine the potential of bittern in waste management and marine resource-based applications. This study was conducted using a qualitative method, namely a semi-systematic literature review. The potential use of bittern in various applications and marine resource applications includes as a coagulant in fish processing wastewater treatment, natural fertilizer and struvite for fish ponds and a mixture of soaking water and fish preservatives.*

**Keywords:** Potential, Bittern, Waste, Marine.

#### PENDAHULUAN

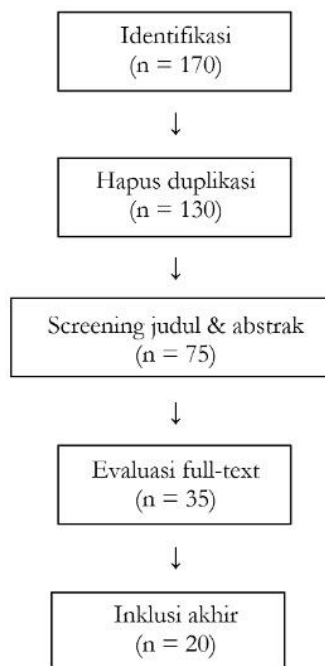
Garam adalah salah satu komoditas swasembada pangan yang ditetapkan oleh pemerintah dalam rangka mendukung Program Asta Cita Presiden Prabowo Subianto guna mewujudkan Indonesia sebagai negara maritim yang mandiri dan berkelanjutan. Swasembada pangan garam, bukan hanya sekadar tujuan ekonomi, melainkan juga wujud kemandirian nasional yang menjadi dasar ketahanan pangan dan gizi masyarakat yang memiliki dampak yang signifikan terhadap perekonomian lokal karena bisa menciptakan lapangan pekerjaan bagi banyak petani garam sesuai dengan tujuan 2 Pembangunan Berkelanjutan/ Sustainable Development Goals (SDGs) dan menjadi mesin baru pertumbuhan ekonomi Indonesia yang bersumber dari pemanfaatan sumber

daya laut secara inklusif dan berkelanjutan sehingga tetap mengedepankan pelestarian laut beserta ekosistem pendukungnya sesuai dengan Blue Economy (Kementerian PPN / BAPENNAS, 2021). Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), peningkatan produksi garam lokal dapat meningkatkan pendapatan petani hingga 20% dalam beberapa tahun terakhir yang berdampak langsung pada kesejahteraan masyarakat di daerah pesisir (Darwin, 2025). Tingginya produksi dalam negeri ditandai dengan produksi garam nasional pada tahun 2023 mencapai 2.551.731 ton (KKP, 2026). Tingginya hasil produksi garam berbanding lurus dengan limbah produksi garam yang dihasilkan. Aktivitas pertambangan garam menghasilkan limbah produksi garam (*bittern*) yang berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, terutama pada kualitas air laut dan ekosistem perairan sekitarnya. Pada 1 ton garam laut yang diproduksi dihasilkan 1 m<sup>3</sup> *bittern* dihasilkan (Abdel-Aal *et al.*, 2017). *Bittern*, sebagai limbah dari produksi garam dapat menjadi polutan bagi laut ketika dibuang langsung ke laut.

*Bittern* berpotensi menimbulkan dampak lingkungan jika dibuang langsung ke laut yang berpengaruh pada kualitas air laut dan ekosistem perairan sekitarnya. Sebagian besar produsen garam membuang *bittern* begitu saja. Hal tersebut berbahaya bagi ekosistem karena *bittern* dapat meningkatkan salinitas lingkungan. Namun di sisi lain *bittern* memiliki kandungan mineral dan senyawa kimia yang bermanfaat bagi berbagai aplikasi kehidupan. *Bittern* memiliki potensi kandungan mineral yang dapat diekstraksi dan menawarkan nilai. Oleh karena itu, perlakuan *bittern* lebih lanjut diperlukan untuk mengurangi dampak lingkungan dan menciptakan ekonomi sirkular yang merupakan sistem yang fokus pada penggunaan kembali, daur ulang, dan pemulihan untuk mencapai keberlanjutan (Sauvé *et al.*, 2016 ; Bagastyo, *et al.*, 2021 dan Widodo, *et al.*, 2023). Dalam setiap ton garam laut yang diproduksi, dihasilkan  $\pm 1$  m<sup>3</sup> *bittern* (Abdel-Aal *et al.*, 2017). Saat ini, *Bittern* belum banyak dimanfaatkan, sehingga cukup mudah diperoleh dan murah (Raesta, *et al.*, 2017). Oleh karena itu, perlu adanya kajian tentang potensi *bittern* dalam pengelolaan limbah dan aplikasi berbasis sumber daya kelautan.

## METODE

Kajian ini dilakukan dengan metode kualitatif yaitu *systematic literature review*. Pencarian artikel dilakukan menggunakan database jurnal penelitian secara online. Pemilihan artikel disesuaikan dengan topik penelitian pada potensi *bittern* dalam pengelolaan limbah dan aplikasi berbasis sumber daya kelautan dengan menggunakan kriteria inklusi. Berdasarkan literatur yang dipilih lalu diekstrak dan disintesa dengan pendekatan kualitatif untuk menganalisis data.



Gambar 1. Diagram Alur PRISMA Penelitian

Literatur yang menjadi rujukan dalam penelitian ini berupa jurnal yang diterbitkan dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Pengumpulan literatur dilakukan melalui database Google Scholar, Researchgate, Science Direct, Taylor & Francis, dan Elsevier dengan menggunakan beberapa kata kunci seperti Potensi, Bittern, Limbah, Garam dan Kelautan. Penelitian ini membahas tentang informasi Potensi Bittern dalam Pengelolaan Limbah dan Aplikasi Berbasis Sumber Daya Kelautan yang didasari oleh 20 jurnal ilmiah terpublikasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bittern adalah cairan berwarna kekuningan. Bittern memiliki parameter khusus dalam bentuk tingkat konsentrasi yang disebut °Be. Umumnya, °Be air laut adalah 26-29 °Be. Bittern adalah cairan residu padat yang memiliki berat jenis 1,28 gm/cm<sup>3</sup>. Selain itu, bittern memiliki banyak kandungan mineral yang tidak mengkristal di meja garam yang menjadikannya sebagai larutan jenuh (Hasanah, 2021 dan Nayak 2018). Komposisi dan densitas penguapan air laut juga bahan kimia yang terkandung dalam bittern dari 10 juta ton garam yang diproduksi tersaji pada tabel 1 dan 2.

**Tabel 1.** Perubahan komposisi dan densitas selama penguapan air laut

Mineral	Jumlah
Ca	0.408
SO <sub>4</sub>	2.643
Mg	1.265
Cl	18.950
K	0.380
Na	10.480
Br	0.065
Total	34.190

Sumber : Abdel-Aal, *et al.*, 2017.

**Tabel 2.** Bahan kimia yang terkandung dalam bittern dari 10 juta ton garam yang diproduksi

Senyawa Kimia	Tons
NaCl	1,500,000
MgCl <sub>2</sub>	1,200,000
MgSO <sub>4</sub>	700,000
KCl	238,000
Bromine	20,000

Sumber : Abdel-Aal, *et al.*, 2017

Bittern diperoleh setelah mengalami beberapa kali penguapan sehingga terjadi peningkatan maupun penurunan konsentrasi pada kandungan mineral didalamnya dibandingkan dengan saat kondisi air laut sebelum mengalami penguapan. Setelah melalui beberapa proses penguapan, pada umumnya bittern water memiliki nilai derajat baume berkisar hingga 29-30° Be, pada saat terjadi peningkatan densitas terjadi peningkatan konsentrasi senyawa Mg, K, Cl dan SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> yang mengendap pada Be ≥ 29° dan menurunkan kandungan senyawa Na dan Ca hingga nilai derajat baume konstan menjadi 29° Be (Raesta *et al.*, 2017 ; Megawati, *et al.*, 2021 dan Nayak, 2018). Faizah, *et al.* (2018) dan Raesta *et al.*, 2017 juga mengidentifikasi bahwa terdapat berbagai senyawa seperti magnesium sulfat (MgSO<sub>4</sub>), natrium klorida (NaCl), magnesium klorida (MgCl<sub>2</sub>), kalium klorida (KCl), kalsium klorida (CaCl<sub>2</sub>), Natrium Bromida (NaBr) dan unsur mikro seperti yodium, molybdenum, selenium, seng).

Adanya kandungan senyawa pada bittern tersebut menimbulkan dampak bagi lingkungan dan ekosistem pesisir dan laut serta perairan umum lainnya. Beberapa penelitian dilakukan guna mengetahui efek bittern yang dibuang ke perairan pesisir. Penelitian yang pernah dilakukan menggunakan mangrove *Avicennia marina*. Bittern dapat menghambat pertumbuhan dengan konsentrasi 50% untuk mangrove. Konsentrasi 100% bittern bersifat mematikan setelah paparan 8 jam selama 10 hari untuk mangrove *A. marina* (Tewari *et al.*, 2003). Hal serupa dikatakan oleh

(Bagastyo *et al.*, 2021). bahwa kehadiran salinitas tinggi dalam aliran limbah ini dapat mengakibatkan dampak lingkungan yang merugikan meskipun air laut yang memiliki salinitas tinggi digunakan sebagai bahan baku untuk produksi garam tradisional dan merupakan lingkungan bagi kehidupan laut untuk mendukung perikanan. Produksi garam dan perikanan dapat mendukung ekonomi bagi komunitas yang tinggal di pesisir (Apriani *et al.*, 2018).

Penelitian terhadap organisme air tawar menunjukkan dengan adanya peningkatan salinitas telah menyebabkan penurunan kelangsungan hidup, pertumbuhan, dan reproduksi. Peningkatan konsentrasi garam mempengaruhi organisme dengan mengubah tekanan osmotik, mempengaruhi perkembangan, kelangsungan hidup dan mortalitas organisme air. Di ekosistem air tawar, peningkatan salinitas juga dapat menyebabkan penurunan plankton, yang mengarah pada peningkatan pertumbuhan fitoplankton. Secara keseluruhan, meningkatnya salinitas di sistem terestrial dan akuatik dapat menyebabkan pergeseran komunitas ekologi dengan dampak ekosistem yang luas (Kaushal *et al.*, 2023). Selain itu, tingginya konsentrasi ion terlarut dalam limbah cucian garam yang dibuang ke sungai dapat menyebabkan menurunnya kualitas air, menyebabkan kekeruhan, mengurangi cahaya yang masuk sehingga biota mati dan merusak ekosistem (Yuliasuti *et al.*, 2020). Oleh karena itu, untuk mengurangi pencemaran lingkungan serta supaya ion magnesium ada limbah cucian garam tidak terbuang percuma, maka bisa menggunakan limbah tersebut dengan tujuan untuk memperoleh struvite sebagai bahan baku pupuk dengan memanfaatkan sumber ion magnesiumnya (Zulfian *et al.*, 2023).

Limbah bittern yang dibuang ke laut akan menjadi sia-sia dan jika dibuang dalam jumlah besar akan membahayakan variasi pH, akumulasi mineral dan kerusakan biota bentik, hal ini dikarenakan bittern memiliki konsentrasi yang sangat tinggi dan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan pada laut itu sendiri. Bittern memiliki banyak kandungan mineral yang berupa Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), magnesium (Mg), Natrium (Na) dan calcium (Ca) yang dapat menjadikan pengotor dan menurunkan kadar NaCl pada garam, agar kandungan mineral tersebut tidak terbuang sia-sia dan menurunkan kualitas garam, maka perlu dilakukan pengolahan dan pengembangan teknologi agar bermanfaat dengan baik (Raesta *et al.*, 2017). Potensi bittern tersebut digunakan pada berbagai bidang aplikasi diantaranya :

### 1. Koagulan

Keberadaan bittern akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan jika tidak ditangani secara baik, karena masih mengandung zat padat terlarut dan tersuspensi, baik berupa zat organik maupun anorganik sehingga perlu dilakukan penurunan kadar zat padat tersebut, sehingga ketika dibuang ke badan air salah satunya berasal dari industri pengolahan ikan. Limbah cair proses pencucian pada industri pengolahan ikan mengandung TSS, BOD, COD yang kadarnya melebihi baku mutu (Purwaningsih *et al.*, 2017). Penurunan kadar zat padat tersuspensi dapat dilakukan melalui proses koagulasi dan flokulasi dengan menambahkan koagulan. Koagulan adalah bahan kimia yang berfungsi sebagai pengikat partikel-partikel penyebab kekeruhan terhadap air agar terjadi gumpalan atau flok yang mudah diendapkan. Secara umum koagulan berfungsi untuk mengurangi kekeruhan akibat adanya partikel koloid anorganik maupun organik, mengurangi warna yang diakibatkan oleh partikel koloid di dalam air dan mengurangi rasa dan bau yang diakibatkan oleh partikel koloid didalam air (Malik *et al.*, 2017).

Penelitian oleh Purwaningsih *et al* (2017) disimpulkan bahwa bittern bisa dijadikan koagulan alami karena efektivitas dalam menurunkan kadar TSS limbah cair. Bittern mengandung magnesium dengan kekuatan ion yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai koagulan. Penurunan kadar zat padat tersuspensi dapat dilakukan melalui proses koagulasi dan flokulasi dengan menambahkan koagulan. salah satu koagulan alami. Limbah cair pengolahan ikan ketika ditambahkan bittern akan mengalami penurunan kadar TSS, Selain itu penambahan bittern juga mampu menurunkan kadar COD dan BOD. Limbah produksi garam atau bittern memiliki konsentrasi magnesium tinggi yang menyebabkan limbah ini memiliki potensi yang besar sebagai koagulan dalam pengolahan air. Limbah cair pengolahan ikan mengandung beban organik yang tinggi dan jika tidak diolah dengan baik limbah ini dapat menyebabkan eutrofikasi dan kematian organisme pada badan air. Proses pengolahan yang membutuhkan biaya tinggi menyebabkan

pengolahan limbah cair pengolahan ikan belum terlaksana dengan baik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan di analisis efektivitas bittern sebagai alternatif koagulan alami dalam pengolahan limbah cair pengolahan ikan dengan memberikan variasi dosis koagulan bittern dan variasi pH selama analisis jar test. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik bittern, mengetahui efisiensi penghilangan kadar TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat menggunakan koagulan bittern dan menentukan dosis optimum koagulan bittern dan kondisi pH untuk menurunkan konsentrasi TSS, BOD, COD, amonium dan fosfat (Gatneh, 2021).

## 2. Pupuk

Limbah hasil pengolahan garam (*bittern*) dapat diubah menjadi pupuk mikronutrisi antara lain menjadi pupuk multinutrien phosphat base dan pupuk struvite. Kedua jenis pupuk ini adalah pupuk yang bersifat *slow release* sehingga bersifat ramah lingkungan, karena pupuk tersebut dapat terserap ke dalam tanah secara berkala. Struvite dapat membatasi kehilangan fosfor tanah yang biasanya terjadi diakibatkan pupuk buatan yang rilis dengan cepat (Szymanska *et al.*, 2019). Bittern memiliki banyak kandungan mineral, diantaranya magnesium klorida ( $MgCl_2$ ), kalium klorida (KCl), magnesium sulfat ( $MgSO_4$ ), natrium klorida (NaCl) dan garam-garam lainnya (Nugraha *et al.*, 2018).  $MgCl_2$  baik digunakan untuk bahan pembentukan kristal struvite karena garam klorida memiliki kelarutan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan senyawa magnesium lainnya seperti MgO dan  $Mg(OH)_2$  (Adiman *et al.*, 2020 ; Zulfian, *et al.*, 2023). Pembentukan struvite dilakukan dengan mencampurkan tiga senyawa yaitu Magnesium, Amonium, dan Phospat (MAP) (Ramadhani *et al.*, 2021). Di bidang perikanan, bittern dapat digunakan sebagai pupuk di tambak ikan. Tambak yang dipupuk dengan air bittern memiliki pertumbuhan fitoplankton yang lebih tinggi. Fitoplankton merupakan pakan alami yang baik bagi ikan. Semakin banyak fitoplankton maka ikan akan semakin baik pertumbuhannya. Sulfat banyak digunakan sebagai bahan baku tambahan dalam pembuatan pupuk multi nutrisi. Penggunaan asam sulfat sebagai salah satu komponen untuk produksi pupuk multi nutrisi berfungsi untuk menumbuhkan makanan alami (plankton) di kolam ikan (Nadia *et al.* 2015). Selain itu, asam sulfat adalah salah satu bahan pendukung yang banyak digunakan dalam produksi asam fosfat yang digunakan untuk pembuatan pupuk fosfat (Hakim *et al.*, 2018). Selain itu, bittern juga berpengaruh terhadap kultur pakan alami artemia dimana penggunaan 500 ml limbah air garam menghasilkan daya penetasan tertinggi sebesar 7,25% (Ndolu *et al.*, 2023)

## 3. Pengasinan dan Pengawetan Ikan

Kandungan mineral dan senyawa pada bittern bermanfaat sebagai campuran air untuk berendam dan pengawet ikan pada industri pengasinan dan pengawetan ikan, (Raesta, *et al.*, 2017). Pengasinan dengan bittern  $30^\circ Be$  akan menghasilkan produk ikan asin yang rendah NaCl dan tinggi kandungan Mg. Bittern  $30^\circ Be$  mempunyai kandungan Mg tinggi sehingga nantinya jika digunakan untuk pengasinan ikan, senyawa ini dapat menghambat penetrasi natrium ke dalam jaringan Ikan, dengan demikian diperoleh ikan asin dengan NaCl rendah dan mengandung Mg (Nilawati, 2014). Menurut Bagastyo, *et al* (2021) melalui pemanfaatan bittern ini diharapkan dapat meminimalkan volume limbah air dan meningkatkan pemulihan bahan kimia bernilai tambah potensial dari bittern seefektif mungkin, sehingga meminimalkan dampak lingkungan. Dalam konteks ekonomi sirkular, baik pemanfaatan limbah langsung maupun pemulihan garam dapat dilihat sebagai solusi berkelanjutan yang menjanjikan. Namun, untuk aplikasi jangka panjang, pemulihan garam mungkin lebih menguntungkan karena produk bernilai tambah yang dapat diperoleh dari bittern.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan ditemukan banyak potensi dari bittern yang bernilai ekonomis tinggi khususnya dalam dalam pengelolaan limbah dan aplikasi berbasis sumber daya kelautan. Potensi penggunaan bittern dalam berbagai aplikasi dan aplikasi sumber daya kelautan diantaranya sebagai koagulan dalam pengolahan air limbah pengolahan ikan, pupuk alami dan struvite bagi tambak ikan dan campuran air perendam dan pengawet ikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Aal, H., Zohdy, K., & Abdelkreem, M. (2017). Seawater Bittern a Precursor for Magnesium Chloride Separation: Discussion and Assessment of Case Studies. *International Journal of Waste Resources*, 7(1) : 1–6. <https://doi.org/10.4172/2252-5211.1000267>.
- Adiman, T. M. F., Feriyanto, A., Sutyono, & Edahwati, L., (2020). Mineral Struvite dari Batuan Dolomit dengan Reaktor Kolom Sekat. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2): 85-91. [https://doi.org/10.33005/jurnal\\_tekkim.v14i2.2034](https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v14i2.2034).
- Apriani, M., W. Hadi & A. Masduqi. (2018). Physicochemical Properties of Sea Water and Bittern in Indonesia: Quality Improvement and Potential Resources Utilization for Marine Environmental Sustainability. *Journal of Ecological Engineering*. 19 (3) : 1-10. <https://doi.org/10.12911/22998993/86150>.
- Bagastyo, A. Y., A. Z. Sinatria, A. D. Anggrainy, K. A. Affandi, S. W. T. Kartika & E. Nurhayati. (2021). Resource Recovery and Utilization of Bittern Wastewater From Salt Production: a Review of Recovery Technologies and Their Potential Applications. *Environmental Technology Reviews*, 10 (1) : 294-321. <https://doi.org/10.1080/21622515.2021.1995786>.
- Darwin, D. (2025). Membangun Swasembada Garam untuk Kemandirian Ekonomi. CNBC Indonesia (<https://www.cnbcindonesia.com/opini/20250421123941-14-627437/membangun-swasembada-garam-untuk-kemandirian-ekonomi-html>), diakses pada, 10 Juni 2025, 09.37 WIB).
- Faizah, N., L. Indriyani, Juwari & Renanto. (2018). Pra Desain Pabrik Pupuk  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  dari Bittern. *Jurnal Teknik ITS* 7 (1) : 141-144. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i1.28823>.
- Gatneh, S. 2021. Pemanfaatan Limbah Bittern Sebagai Koagulan Dalam Pengolahan Limbah Cair Pengolahan Ikan. Tesis. Institut Teknologi sepuluh Nopember.
- Hasanah, U., N. I. Nuzula, A. Wicaksono, M. Efendy & W. S. W. Pratiwi (2022). Analysis of Sulfate ( $SO_4$ ) Concentration in Bittern as Raw Material for Magnesium Sulfate ( $MgSO_4$ ). *Omni-Akuatika Special Issue The 4th KRIPIK-SciFiMaS* : 47-52. <http://dx.doi.org/10.20884/1.oa.2022.18.S1.979>.
- Kaushal, Sujay S, Gene E. Likens, Paul M. Mayer, Ruth R. Shatkay, Sydney A. Shelton, Stanley B. Grant, Ryan M. Utz, Alexis M. Yaculak, Carly M. Maas, Jenna E. Reimer, Shantanu V. Bhide, Joseph T. Malin, & Megan A. Rippey. (2023). The Anthropogenic Salt Cycle. *Nature Reviews Earth & Environment*, 31 (4) : 770-784. <https://doi:10.1038/s43017-023-00485-y>.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2025). Produksi Garam. [https://portaldata.kkp.go.id/portals/data-statistik/prod\\_garam/summary](https://portaldata.kkp.go.id/portals/data-statistik/prod_garam/summary), diakses pada, 13 Februari 2026, 16.26 WIB).
- Kementerian PPN / BAPENNAS. (2021). Blue Economy Development Framework for Indonesia's Economic Transformation. Kementerian PPN / BAPENNAS. Jakarta. 96 hal.
- Malik, A., J. L. Goa, S. Julaika & D. Y. Purwaningsih. (2017). Pemanfaatan Bittern sebagai Koagulan Limbah Cair pada Proses Pencucian Industri Pengolahan Ikan. *Prosiding Seniati 3 (2)*. Institut Teknologi Nasional Malang. <https://doi.org/10.36040/seniati.v3i2.1871>.
- Megawati, E., Sriwidodo, I. Setyabudi. (2021). Potensi Kombinasi Bittern Water dengan Vitamin B Kompleks untuk Terapi Defisiensi Mineral pada Sapi: Studi Literatur. *Jurnal Medik Veteriner*, 4 (1) : 137-154. <http://dx.doi.org/10.20473/jmv.vol4.iss1.2021.137-154>.
- Nadia, M., M. Zainuri & M. Efendy. (2015). Prototype Pupuk Multinutrient Berbasis Phosphate Berbahandasir Limbah Garam (Bittern) sebagai Alternatif Solusi Penumbuh Pakan Alami. *Jurnal Kelautan* 8 (2) : 77-82. <https://doi.org/10.21107/jk.v8i2.816>.
- Nayak, N. (2018). Major and Trace Element Determination in Brine and Bittern. *Indian Journal of Research*, 7(7), 36-38. <https://doi.org/10.36106/paripex>.
- Nilawati. (2014). Pemanfaatan Limbah Cair Garam Bahan Baku  $30^\circ$  Be untuk Pengasinan Ikan Gabus Rendah NaCl dan Mengandung Mg. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 5 (2) : 67-73. <https://doi.org/10.21771/jrtppi.2014.v5.no2.p67-73>.
- Ndolu, F. M., F. C. Liufeto & N. Dahoklory. (2023). Pengaruh penggunaan limbah air garam terhadap daya tetas kista artemia salina. *Jurnal Aquatik*, 6 (2) : 65-70. <https://doi.org/10.35508/aquatik.v6i2.12841>.

- Nugraha, K.A., Wesen, P., & Mirwan, M. (2018). Pemanfaatan bittern sebagai koagulan alternatif pengolahan limbah tepung ikan. *J. Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(1): 1-9.
- Purwaningsih, D. Y., S. Julaika, A. Malik & J. L. Goa. (2017). Pengaruh Penambahan Bittern Pada Limbah Cair dari Proses Pencucian Industri Pengolahan Ikan. *Jurnal IPTEK* 21 (1) : 43-50. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2017.v21i1.87>
- Ramadhani, A. D., A. F. Kuliando & L. Endahwati. (2021). Kinetika Reaksi Perolehan Fosfat dari Pengolahan Limbah Garam (Bittern) menjadi Struvite Dengan Reaktor Vertikal. *Jurnal Teknik Kimia* 27 (10) : 14-20. <https://doi.org/10.36706/jtk.v27.i1.11>.
- Randazzo, S., F. Vicari, J. L'opez, M. Salem, R. Lo Brutto, S. Azzouz, S. Chamam, S. Cataldo, N. Muratore, M. Fernandez de Labastida, V. Vall'es, A. Pettignano, G. D'Ali Staiti, S. Pawlowski, A. Hannachi, & J. L. Cortina, A. Cipollina. (2024). Unlocking hidden mineral resources: Characterization and Potential of Bitterns as Alternative Sources of Critical Raw Materials. *Journal of Cleaner Production*, 436 : 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140412>.
- Raesta, R. A., Hartatik, N. I., Layudha, S. I., Nurohman, M. I., & Kurniasari, L. (2017). Pemanfaatan Bittern (Air Tua) Garam Untuk Pembuatan Peel Of Mask Dengan Ekstrak Daun Pepaya Sebagai Anti Jerawat. *Prosiding SNST* : 37-42. Semarang. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. <https://doi.org/10.36499/psnst.v1i1.1905>.
- Sauvé, S., S. Bernard, S & P. Sloan. (2016). Environmental Sciences, Sustainable Development and Circular Economy: Alternative Concepts for Trans-Disciplinary Research. *Environmental Development*, 17 : 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>.
- Szymanska, M., E. Szara, A. Was, T. Sosulski, G. W. P. Van Pruissen & R. L. Cornelissen. (2019). Struvite-An Innovative Fertilizer from Anaerobic Digestate Produced in A Bio-Refinery. *Energies J.*, 12 (2) : 1-9. <https://doi.org/10.3390/en12020296>.
- Tewari, A., H. V. Joshi., C. Raghunathan, R. H. Trivedi & P. K. Ghosh. (2003). The Effect of Sea Brine and Bittern on Survival and Growth Of Mangrove Avicennia Marina (Dicotyledones: Avicenniaceae). *Indian Journal of Marine Sciences*, 32 (1) : 52-56.
- Widodo, E., F. S. U. Putra, D. Hartanto, N. I. Arvitrida, A. Y. Bagastyo, I. Warmadewanthi, & T. Soehartanto. (2023). Analysis of Bittern Recovery Facility Using Mixed-Integer Nonlinear Programming: Centralized, Decentralized, and Hybrid Scenarios. *Jurnal Internasional Teknologi*, 14 (3) : 638-648 <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i3.5437>.
- Yuliasuti, R & H. B. Cahyono. (2020). Pemanfaatan Limbah Cair Cucian Industri Garam Sebagai Mg(OH)<sub>2</sub>. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 21 (2) : 213-218. <https://doi.org/10.29122/jtl.v21i2.3778>.
- Zulfian, F. A., K. Mubin & Sutiyono. (2023). Pembentukan Struvite dari Limbah Cucian Garam Industri Menggunakan Reaktor Kolom Bersekat Miring. *Enviroous* 3 (2) : 43-48. <https://doi.org/10.33005/enviroous.v3i2.13>.