

ANALISIS PERBANDINGAN KRISTALISASI GARAM PADA TUNNEL PLASTIK DAN RUMAH KRISTALISASI DI KABUPATEN KEBUMEN

COMPARATIVE ANALYSIS OF SALT CRYSTALLIZATION IN PLASTIC TUNNEL AND CRYSTALLIZER HOUSE IN KEBUMEN DISTRICT

Ari Kuncoro¹, Susilo Wisnugroho¹, Rikha Bramawanto², Ma'muri³, Salasi Wasis Widyanto¹, Muhammad Agus¹, Nanda Radhitia Prasetiawan⁴, & Adiguna Rahmat Nugraha⁵

¹Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Inovasi Nasional

²Pusat Riset Iklim dan Atmosfer, Badan Riset dan Inovasi Nasional

³Pusat Riset Teknologi Tepat Guna, Badan Riset dan Inovasi Nasional

⁴Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional

⁵Pusat Riset Oseanografi, Badan Riset dan Inovasi Nasional

e-mail : rikh001@brin.go.id

Diterima tanggal: 3 Februari 2023 ; diterima setelah perbaikan: 28 Desember 2023 ; Disetujui tanggal: 28 Desember 2023

ABSTRAK

Penggunaan tunnel plastik dan rumah kristalisasi sebagai media untuk produksi garam mampu mengatasi gangguan cuaca, terutama hujan, sebagaimana lazim terjadi pada produksi garam konvensional. Beberapa kajian telah menunjukkan keunggulan masing-masing media tersebut, namun belum ada kajian yang membandingkan keduanya secara langsung terutama dari aspek kristalisasi garam. Riset ini bertujuan membandingkan kristalisasi garam di tunnel plastik dan rumah kristalisasi yang berada di pesisir Kabupaten Kebumen. Riset ini mengamati kristal garam yang terbentuk dari brine yang sama serta mengukur parameter lingkungan di sekitar tunnel plastik dan rumah kristalisasi. Hasil riset menunjukkan bahwa kristalisasi garam di tunnel plastik relatif lebih cepat dan jumlahnya lebih banyak namun kristal garam dari rumah kristalisasi lebih solid, berwarna lebih jernih dan ukuran kristal tunggal lebih besar. Meskipun kedua fasilitas sama-sama memanfaatkan efek rumah kaca, rata-rata suhu ruangan dan suhu brine di tunnel plastik lebih tinggi dibandingkan di rumah kristalisasi, Suhu ruangan dan brine tertinggi di tunnel plastik mencapai 57,4°C dan 60,4°C, sedangkan suhu maksimum ruangan dan brine di rumah kristalisasi hanya 51,5°C dan 53°C. Perbedaan kemampuan tunnel plastik dan rumah kristalisasi dalam memerangkap panas menghasilkan kristal garam yang berbeda. Rumah kristalisasi memerlukan beberapa alternatif pembenahan agar dapat bekerja lebih optimal. Petani garam dapat mengklasifikasikan garam dari tunnel plastik dan rumah kristalisasi berdasarkan perbedaan ukuran, warna dan bentuk kristal, sebagai upaya diversifikasi produk untuk memperluas segmentasi pasar.

Kata kunci: Garam laut, larutan garam, suhu, efek rumah kaca, tunnel plastik.

ABSTRACT

Plastic tunnels and crystallizer house used as a medium for salt production can overcome weather disturbances, especially rain, as occurs in conventional salt production. Many studies show the advantages of each media, but no study compares them directly, especially the salt crystallization aspect. The research aims to contrast the salt crystallization in plastik tunnels and crystallizer house on the coast of Kebumen Regency. This research observed the salt crystals formed from the same brine and measured environmental parameters around plastik tunnels and crystallizer house. The research results show that salt crystal formation in plastik tunnels is relatively faster and has a greater quantity, but the salt crystal in the greenhouse is clear, more solid, and has a bigger crystal size. Although both facilities have a greenhouse effect, the average room and brine temperatures in the plastik tunnel are higher than in the greenhouse. The highest room and brine temperatures reached 57.4°C and 60.4°C inside the plastik tunnel, while the peak room and brine temperatures inside the greenhouse were 51.5°C and 53°C. The different ability of plastik tunnels and crystallizer house to trap heat produces variant salt crystals. The crystallizer house requires several alternative improvements to make it work more optimally. Salt farmers can classify salt from plastik tunnels and crystallizer house based on differences in size, color, and crystal shape, as diversified products to expand market segmentation.

Keywords: Sea salt, brine, temperature, greenhouse effect, tunnel plastic.

PENDAHULUAN

Indonesia yang berada di sekitar khatulistiwa mengalami dua musim yakni musim hujan dan kemarau. Panas yang panjang pada musim kemarau dimanfaatkan oleh masyarakat salah satunya untuk membuat garam (Helmi & Sasaoka, 2018; Mahasin *et al.*, 2020). Musim kemarau di Indonesia tidak selalu kering, terkadang pada waktu-waktu tertentu mengalami anomali menjadi kemarau basah (Yulihastin *et al.*, 2021). Kemarau basah ditandai dengan tingginya curah hujan dibandingkan kondisi normalnya di musim kemarau, seperti terjadi pada tahun 2010 dan 2016 (As-syakur, 2015; Lestari, 2019). Kemarau basah di Indonesia dapat dipicu oleh anomali suhu muka laut yang menyebabkan terjadinya fenomena La Nina dan IOD negative (Kurniadi *et al.*, 2021). Kemarau basah terbukti menurunkan hasil panen bahkan dapat menyebabkan gagal panen garam (Bramawanto & Abida, 2017).

Produksi garam di Indonesia sebagian besar diolah melalui proses penguapan air laut di lahan pertambakan (Mahasin *et al.*, 2020). Tambak garam beroperasi dalam bentuk kumpulan kolam penguapan yang sangat bergantung pada kondisi cuaca setempat (Bramawanto & Sagala, 2016). Teknologi ini biasa disebut metoda madura, dimana hasil garam tidak berwarna putih karena bercampur dengan kotoran akibat dasar tambak garamnya adalah tanah, kandungan NaCl rendah, dan juga air laut yang tertampung dalam media pembuatan garam hilang meresap ke dalam (Nur *et al.*, 2013). Penggunaan tunnel plastik sebagai media untuk produksi garam terbukti mampu mengatasi gangguan cuaca terutama hujan, sebagaimana lazim terjadi pada produksi garam konvensional (Bhakti *et al.*, 2021; Joesidawati & Suwarsih, 2019).

Plastik dapat digunakan sebagai media pembuatan garam karena plastik mempunyai sifat yang fleksibel, sehingga memungkinkan pemrosesan yang mudah dan pembentukan dalam berbagai bentuk dan ukuran (Harper, 2002). Selain itu, plastik memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik terhadap tekanan, benturan, dan tarikan, serta tidak mudah terpengaruh oleh korosi atau reaksi kimia dengan bahan lain, sehingga menjadi pilihan yang baik dalam lingkungan yang korosif seperti tambak garam (Prapanca & Batan, 2015). Beberapa jenis plastik memiliki sifat isolasi termal yang baik sehingga cocok digunakan dalam aplikasi dimana isolasi diperlukan (Semenov *et al.*, 2021). Teknologi tunnel plastik bisa membuat petani garam dapat panen dengan hasil yang baik dalam berbagai

macam cuaca di musim kemarau maupun musim hujan, karena kemampuan tunnel plastik menahan air hujan dan menyimpan panas. Tunnel plastik mampu menampung dan mempercepat produksi garam karena intensitas serapan panas tinggi sehingga membantu dalam proses presipitasi, evaporasi dan pembentukan kristal garam (Susanto *et al.*, 2015). Kemampuan tunnel plastik dalam menyimpan panas dan melindungi media dari air hujan mendukung proses penguapan dan kristalisasi garam sehingga membuat panen garam dapat dilakukan dalam berbagai macam cuaca di musim kemarau maupun hujan (Susanto *et al.*, 2015; Kurniawan *et al.*, 2019). Produktivitas tunnel plastik dalam memproduksi garam lebih tinggi dibanding dengan media tanah ataupun keramik (Arwiyah *et al.*, 2015). Produk garam yang diperoleh tunnel plastik juga mempunyai keunggulan dalam hal kualitas, yaitu kadar NaCl, penampilan fisik, lebih putih, lebih bersih dan lebih higienis dari pada produk garam yang menggunakan teknologi tradisional metode madura (Susanto *et al.*, 2015; Rusiyanto *et al.*, 2013). Kadar kepekatan air tua yang masuk ke dalam meja kristalisasi turut mempengaruhi kadar kemurnian garam NaCl (Arwiyah *et al.*, 2015).

Meskipun metode tunnel plastik telah mampu menjawab tantangan pada produksi garam tradisional/konvensional akan tetapi proses kristalisasi garam masih mengalami hambatan ketika cuaca ekstrem terjadi (Suhendra, 2016). Berbagai inovasi dilakukan untuk mengatasi hal tersebut, salah satunya dengan penerapan rumah kristalisasi. Meskipun pada prinsipnya rumah kristalisasi dan tunnel plastik sama-sama menerapkan konsep rumah kaca, namun keduanya memiliki struktur yang berbeda (Gambar 1B dan 1C). Dampak ketidakstabilan cuaca terhadap produksi bahan pangan dapat dieliminir dengan penerapan metode rumah kaca (Dehbi *et al.*, 2017). Model rumah kaca sangat menentukan suhu dan aliran udara panas di dalam ruangan (Sethi, 2009).

Beberapa kajian menunjukkan keunggulan dari penggunaan tunnel plastik dan rumah kristalisasi untuk meningkatkan kuantitas produksi garam (Kurniawan, 2019; Listanti & Musthafa, 2020), namun belum ada kajian yang membandingkan keduanya terutama dari aspek kristalisasi garam dalam waktu yang relatif bersamaan. Kebumen merupakan salah satu daerah produksi garam rakyat yang menerapkan kedua media tersebut. Riset ini bertujuan membandingkan kristalisasi garam di tunnel plastik dan rumah kristalisasi yang berada di pesisir Kabupaten Kebumen.

Tabel 1. Jumlah produksi garam dari Kugar Jagad Kidul dan Kugar Cirat Segoro Renges tahun 2021 dan tahun 2022
 Table 1. Salt production from Kugar Jagad Kidul and Kugar Cirat Segoro Renges in 2021 and 2022

Kugar	Tahun	Bulan / 1.000 Kg												Jmlh
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	
Jagad Kidul	2021	1,2	3,0	1,50	3,00	2,0	2,7	1,70	3,105	1,59	1,40	1,05	1,25	23,495
	2022	1,7	1,5	1,50	0,95	0,7	-	1,80	-	-	-	-	-	8,150
Ciriat Segoro Renges	2021	1,5	4,0	3,50	4,00	3,0	8,0	7,15	4,075	4,22	1,25	9,00	2,30	43,895
	2022	3,1	3,0	3,75	3,00	3,9	4,4	3,60	2,900	3,30	3,45	1,25	1,20	37.100

Sumber: Pengelola Kugar Cirat Segoro Renges 13 dan Kugar Jagad Kidul tahun 2023.

Produksi garam dari Kugar Jagad Kidul dan Cirat Segoro Renges tahun 2021 dan 2022 tidaklah sama pada tiap bulannya dimana hal tersebut dapat dipengaruhi sebagai faktor yang salah satunya adalah cuaca (Tabel 1).

Dari data tersebut, pada musim kemarau pada bulan April s/d September 2021 dan 2022, hasil garam dari tambak garam Kugar Jagad Kidul mempunyai rata-rata 2,35 ton dan 0,575 ton, serta Kugar Cirat Segoro Renges 13 mempunyai rata-rata 5,074 ton dan 3,517 ton. Sedangkan pada musim penghujan pada bulan Oktober s/d Maret 2021 dan 2022, hasil garam dari Kugar Jagad Kidul mempunyai rata-rata 1,57 ton dan 0,78 ton, serta tambak garam Kugar Cirat Segoro Renges 13 mempunyai rata-rata 3,59 ton dan 2,625 ton. Dari data tersebut, dapat diketahui bahwa hasil garam yang didapat oleh kedua tambak garam, banyak dihasilkan saat musim kemarau, hal ini sejalan dengan jumlah panas yang dihasilkan oleh matahari untuk meningkatkan proses penguapan air garam.

Dari hasil penelitian diharapkan dapat diketahui faktor yang mempengaruhi kristalisasi garam, baik menggunakan metode rumah kristalisasi maupun tunnel plastik, sehingga dapat diusulkan perbaikan terhadap metode yang digunakan ketika masih ditemukan kekurangan. Selain itu, pengamatan terhadap kristalisasi garam dapat digunakan untuk mengelompokkan garam berdasarkan perbedaan karakteristiknya. Dengan demikian teknologi produksi garam menggunakan metode rumah kristalisasi dan metode tunnel plastik dapat meningkatkan jumlah dan mutu produksi garam secara efektif dan efisien dalam upaya untuk mendukung pemenuhan target produksi garam nasional.

BAHAN DAN METODE

Riset ini dilakukan dengan pendekatan metode diskriptif komparatif dan teknik observasi terhadap

proses produksi garam menggunakan metode tunnel plastik dan rumah kristalisasi. Riset ini mengamati kristal garam yang terbentuk dari *brine* yang sama pada waktu yang sama dan mengukur parameter lingkungan seperti suhu udara luar, suhu *brine*, tinggi *brine*, densitas *brine* dan suhu udara di dalam tunnel plastik dan rumah kristalisasi.

Penelitian ini sejak persiapan hingga pelaksanaan dikerjakan dari bulan Juni s/d Agustus 2022 bertempat di tambak garam Kugar Cirat Segoro Renges 13 di Desa Tlogopragoto dan Kugar Jagad Kidul di Desa Miritpetikusan, Kecamatan Mirit, Kabupaten Kebumen, Provinsi Jawa Tengah. Kedua lokasi penelitian berada dalam satu hamparan pesisir yang sama dan berjarak sekitar 2,5 Km, sehingga dapat diasumsikan kondisi lingkungannya relatif seragam. Lokasi pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 1A. Perbedaan di antara keduanya adalah Kugar Jagad Kidul hanya menggunakan tunnel plastik dalam pembuatan garam sedangkan Kugar Cirat Segoro Renges 13 menggunakan rumah kristalisasi dan tunnel plastik.

Pengamatan pembentukan kristal garam dilakukan terhadap fasilitas yang telah tersedia dan digunakan oleh produsen garam dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Penyiapan dan penguapan *brine* siap dikristalisasi. Meja kristalisasi garam diletakkan di dalam tunnel plastik dan rumah kristalisasi. *Brine* dengan densitas 22°Be dimasukkan ke dalam meja kristalisasi dan selanjutnya menjadi objek penelitian selama proses kristalisasi. *Brine* tersebut diperoleh dari proses penuaan air laut berdensitas awal 2 s/d 3°Be dengan cara penguapan. *Brine* untuk pembuatan garam metode tunnel plastik diambil dari tunnel plastik sebanyak 70 liter dengan menggunakan jerigen sedangkan *brine* untuk metode rumah kristalisasi diambil pada meja garam sebanyak 60 liter menggunakan ember. Terdapat perbedaan volume *brine* yang diteliti, dikarenakan ukuran media meja



Tabel 1. (A) Lokasi penelitian; (B) tunnel plastic; (C) rumah kristalisasi.
 Figure 1. (A) Research location; (B) plastic tunnels; (C) crystallization house.
 (Sumber: (A) Google Maps; (B) dan (C) dokumentasi penelitian)

garam dengan metode rumah kristalisasi lebih kecil dibanding dengan metode tunnel plastik. *Brine* 22°Be akan diuapkan hingga terbentuk kristal garam. Penguapan *brine* dilakukan dalam waktu 12 hari mulai tanggal 28 Juli - 6 Agustus 2022.

2. Pengukuran parameter lingkungan dan pengamatan kristalisasi garam. Selama proses penguapan *brine*, dilakukan pengukuran parameter lingkungan di tunnel plastik dan rumah kristalisasi serta pengamatan kristalisasi garam yang terbentuk pada kedua media. Pengukuran terhadap parameter lingkungan menghasilkan data suhu di luar-dalam tunnel plastik dan rumah kristalisasi, suhu *brine*, ketinggian

brine dan densitas *brine*. Pengambilan data tersebut dilakukan menggunakan alat thermometer, TDS dan baumemeter (Gambar 2). Sedangkan kristalisasi garam dicatat dan dideskripsikan berdasarkan pengamatan secara visual serta didokumentasikan dalam bentuk foto. Data diambil setiap hari pada sekitar pukul 11.00 s/d 14.00 WIB, dimana pada waktu-waktu tersebut proses penguapan berlangsung optimal.

3. Pemanenan dan pengamatan hasil panen garam. Pemanenan garam didalam tunnel plastik dan rumah kristalisasi dilakukan setelah kecepatan pembentukan kristal menurun akibat menurunnya



Tabel 2. (A) Thermometer untuk pengukuran suhu air, ruangan dan lingkungan tambak garam; (B) Thermometer untuk pengukuran suhu ruangan pada metode rumah kristalisasi; (C) Pengukuran ketinggian air garam dengan penggaris; (D) Pengukuran densitas larutan garam dengan baume meter.

Figure 2. (A) thermometer for measuring water, room and environment temperature; (B) Thermometer for measuring room temperature in the crystallization house; (C) Measurement of the brine level with a ruler; (D) Measurement of the density of the brine with a baume meter. (Sumber: Dokumentasi penelitian).

suhu secara tiba-tiba. Penurunan suhu ini karena hujan yang tiba-tiba terjadi pada tanggal 7 Agustus 2022 s/d 8 Agustus 2022, sehingga dilakukan pemanenan garam. Selanjutnya dilakukan pemisahan antara garam dan air (bittern) yang masih tersisa dengan cara meniriskannya. Garam yang sudah ditiriskan kemudian ditimbang beratnya dan dilakukan pengamatan serta pengambilan foto terhadap tampilan fisik garam yang dihasilkan oleh kedua media.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil pengukuran parameter lingkungan dan *brine* serta pengamatan terhadap kristalisasi garam di tunnel plastik dan rumah kristalisasi termuat dalam tabel 2 - 4 berikut ini. Kondisi cuaca selama penelitian bervariasi, mulai dari cerah hingga cerah berawan pada hari pertama sampai hari ke-10, kemudian diselingi hujan pada malam hari memasuki hari ke-11 dan ke-12. Selisih suhu lingkungan luar dengan suhu ruangan di dalam tunnel plastik dan rumah kristalisasi menunjukkan bahwa secara umum suhu di dalam ruangan tunnel

Tabel 2. Parameter lingkungan tambak garam
Table 2. Environmental parameters of saltern

Tanggal	Waktu	Kondisi Cuaca	Suhu lingkungan luar (°C)	Rumah kristalisasi		Tunnel Plastik	
				Suhu air (°C)	Suhu ruangan (°C)	Suhu air (°C)	Suhu ruangan (°C)
28/07/2022	12.30 – 13.00	Cerah Berawan	332.0 – 32.3	44.2	44.0	49.7	50.0
29/07/2022	11.40 – 12.38	Cerah Berawan	29.0 – 32.2	42.4	41.5	47.4	46.2
30/07/2022	13.19 – 13.38	Cerah	33.2 – 36.6	47.3	46.8	52.1	46.7
31/07/2022	11.16 – 12.00	Cerah Berawan	31.6 – 32.6	42.2	41.0	60.4	57.4
01/08/2022	12.03 – 12.27	Cerah Berawan	31.1 – 34.1	49.8	47.3	48.8	43.1
02/08/2022	11.53 – 12.19	Cerah	35.4 – 40.2	46.3	45.8	53.5	49.4
03/08/2022	13.03 – 13.24	Cerah Berawan	30.0 – 32.8	43.6	41.1	44.1	39.6
04/08/2022	12.10 – 13.01	Cerah	40.1 – 46.1	53.0	51.0	56.2	55.1
05/08/2022	13.20 – 13.46	Cerah	39.0 – 41.3	52.1	51.5	57.6	55.8
06/08/2022	12.38 – 13.15	Cerah	41.2 – 42.7	52.8	49.8	55.2	51.6
07/08/2022	12.06 – 12.29	Cerah (pagi hujan dari semalam)	38.3 – 39.8	49.9	48.9	53.4	45.3
08/08/2022	11.47 – 13.00	Cerah (pagi hujan dari semalam)	39.6 – 40.3	52.3	42.4	52.0	45.6

Sumber: Hasil penelitian.

Tabel 3. Perubahan ketinggian, densitas air garam serta evaporasi kumulatif, pada kedua sistem meja kristalisasi
Table 3. Changes in height, brine density and cumulative evaporation, in both crystallization table systems

Tanggal	Rumah kristalisasi			Tunnel Plastik		
	Tinggi air (mm)	Evaporasi kumulatif (mm)	Densitas (OBe)	Tinggi air (mm)	Evaporasi kumulatif (mm)	Densitas (OBe)
28/07/2022	80	0	22	70	0	22
29/07/2022	72	8	22	58	12	22,1
30/07/2022	63	17	23	48	22	23,1
31/07/2022	60	20	23,5	46	24	23,6
01/08/2022	59	21	24	40	30	24
02/08/2022	54	26	24	38	32	24
03/08/2022	50	30	24	35	35	24,1
04/08/2022	45	35	24	32	38	24,1
05/08/2022	42	38	24,5	29	41	24,2
06/08/2022	40	40	24,5	27	43	24,5
07/08/2022	33	47	24,5	22	48	24,6
08/08/2022	30	50	25	20	50	25

Sumber: Hasil penelitian.

Tabel 4. Karakteristik proses pembentukan garam pada kedua meja kristalisasi
 Table 4. Characteristics of the salt formation process on both crystallization tables

Tanggal	Tunnel Plastik	Rumah Kristalisasi
28/07/2022	-	-
29/07/2022	Terdapat endapan di dasar air garam	Terdapat endapan di dasar air garam
30/07/2022	Terdapat endapan di dasar dan permukaan air garam	Terdapat endapan di dasar dan permukaan air garam
31/07/2022	Terdapat endapan menggerombol di dasar dan endapan kotak kecil-kecil permukaan air garam	Terdapat endapan kotak kecil-kecil di dasar dan endapan kotak kecil-kecil permukaan air garam
01/08/2022	Terdapat endapan kristal kasar di dasar dan sedikit kristal kecil di permukaan yang bercampur sampah garam kasar	Terdapat endapan kristal banyak terbentuk di dasar dan di permukaan terdapat kristal kecil
02/08/2022	Lebih banyak endapan di dasar meja kristalisasi dibanding hari sebelumnya, dan terdapat garam piramid di permukaan	Banyak endapan kristal di dasar meja dan di permukaan garam piramid semakin bertambah
03/08/2022	Banyak endapan kristal garam di dasar meja, di permukaan tersebar kristal garam piramid rata-rata berukuran kecil	Banyak endapan kristal garam kasar di dasar meja dan di permukaan terdapat kristal garam piramid berukuran sedang
04/08/2022	Banyak endapan kristal garam di dasar meja, di permukaan tersebar kristal garam piramid rata-rata berukuran kecil	Banyak endapan kristal garam kasar di dasar meja dan di permukaan terdapat kristal garam piramid berukuran sedang
05/08/2022	Banyak endapan kristal garam di dasar meja, di permukaan tersebar kristal garam piramid rata-rata berukuran kecil	Banyak endapan kristal garam kasar di dasar meja dan di permukaan terdapat kristal garam piramid agak banyak berukuran sedang
06/08/2022	Banyak endapan kristal garam di dasar meja dan semakin tebal, di permukaan tersebar kristal garam piramid rata-rata berukuran kecil	Banyak endapan kristal garam kasar di dasar meja dan di permukaan terdapat kristal garam piramid tersebar agak banyak rata-rata berukuran sedang dan ada yang berukuran besar
07/08/2022	Banyak endapan kristal garam di dasar meja dan semakin tebal, di permukaan tersebar kristal garam piramid rata-rata berukuran kecil	Banyak endapan kristal garam kasar di dasar meja dan kristal garam piramid tenggelam ke dalam (Seharusnya tidak)
08/08/2022	Banyak endapan kristal garam di dasar meja dan semakin tebal, di permukaan tersebar kristal garam piramid rata-rata berukuran kecil	Banyak endapan kristal garam kasar di dasar meja dan kristal garam piramid tenggelam ke dalam (Seharusnya tidak)

Sumber: Hasil penelitian.

plastik dan rumah kristalisasi lebih hangat dari pada suhu lingkungan luar (Tabel 2).

Ketinggian *brine* di dalam tunnel plastik dan rumah kristalisasi mengalami pengurangan setiap harinya. Pengurangan tersebut menggambarkan terjadinya penguapan air dari *brine* pada kedua media tersebut. Jumlah air yang diuapkan dari *brine* mulai awal hingga akhir sama, terlihat dari nilai evaporasi kumulatif pada akhir penelitian yaitu 50 mm meskipun dalam prosesnya secara umum laju evaporasi di tunnel plastik terlihat lebih cepat. Di samping itu perbedaan ketinggian awal *brine* pada tunnel plastic dan rumah kristalisasi turut mempengaruhi laju penguapan *brine* di masing-masing media. Berbanding terbalik dengan evaporasi, densitas *brine* justru semakin meningkat setiap harinya. Peningkatan densitas yang signifikan terjadi mulai dari awal sampai hari ke-5 dan selanjutnya

cenderung melandai sampai akhir penelitian (Tabel 3).

Pengamatan pembentukan kristal garam dilakukan selama 12 hari dan pemanenan dilakukan pada hari terakhir pengamatan, meskipun densitas *brine* baru menunjukkan nilai 25°Be. Idealnya pemanenan garam dilakukan saat kadar densitas mencapai 28°Be s/d 29°Be (Jaya *et al.*, 2016). Terdapat dua faktor yang menyebabkan panen dilakukan lebih awal dari semestinya. Faktor pertama yaitu terjadinya hujan lebat pada hari ke 11 dan 12 sehingga suhu air tua di meja garam, suhu ruangan dan suhu lingkungan sekitar menurun dengan tiba-tiba. Faktor kedua adalah semakin menipisnya ketinggian *brine* di meja garam dalam tunnel plastik yang hanya sekitar 2 cm. Kedua kondisi tersebut membuat banyak garam piramid yang terdapat dipermukaan air tua turun ke dasar meja garam sehingga menyebabkan garam piramid bercampur

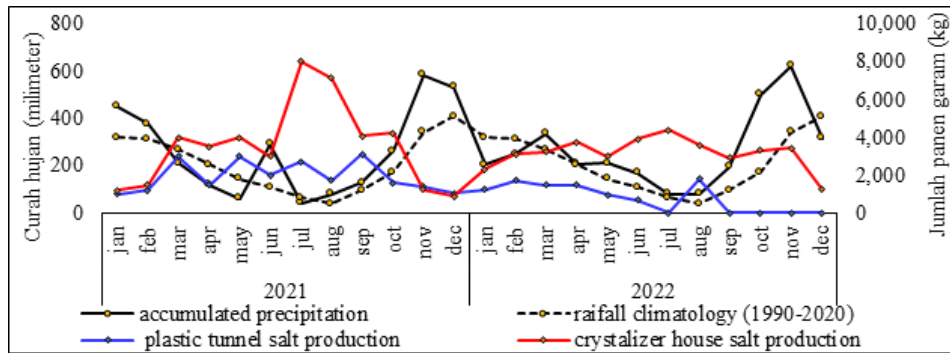
dengan garam (Tabel 4).

Pembahasan

Secara umum produksi garam di Kebumen menggunakan tunnel plastik dan rumah kristalisasi dipengaruhi oleh curah hujan dalam hubungan berbanding terbalik (Gambar 3). Produksi garam meningkat ketika curah hujan rendah dan sebaliknya produksi garam berkurang ketika curah hujan tinggi. Pengaruh fluktuasi curah hujan terhadap produksi garam di rumah kristalisasi (garis jingga) lebih signifikan dibandingkan dengan produksi garam di plastik tunnel (garis biru). Meskipun riset dilaksanakan pada musim kemarau dan curah hujannya mencapai titik terendah di tahun 2022, namun curah hujan tersebut pada kondisi di atas normal terlihat dari nilai curah hujan (garis hitam) di atas kondisi klimatologisnya (garis hitam putus-putus). Kondisi ini dipengaruhi oleh terjadinya

multiyear La Nina yang terjadi selama periode 2020-2022 (Huang *et al.*, 2022; Yuniasih *et al.*, 2023).

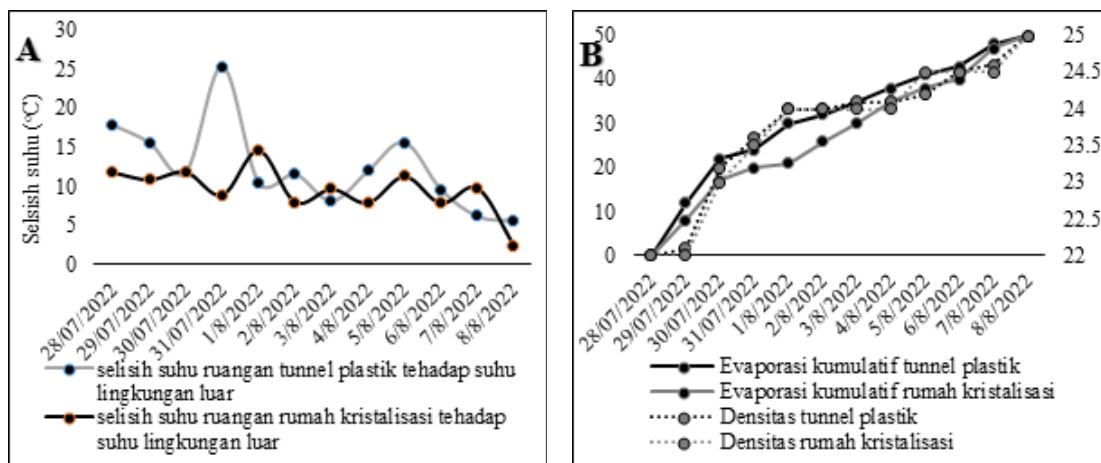
Terdapat perbedaan suhu udara antara metode tunnel plastik, rumah kristalisasi dan lingkungan luar dimana suhu udara pada tunnel ataupun rumah kristalisasi lebih tinggi dibanding suhu udara lingkungan. Sistem tunnel dan rumah kristalisasi menghasilkan efek rumah kaca yang dapat mempertahankan suhu dan kelembaban relatif (Jaziri *et al.*, 2018). Selisih suhu lingkungan luar terhadap suhu ruangan tunnel plastik dan rumah kristalisasi berkisar antara 5,65°C sampai dengan 25,3°C (Gambar 4A). Suhu udara ataupun lingkungan merupakan salah satu faktor penting dalam produksi garam yang dapat mempengaruhi laju serta proses penguapan dari *brine* (Yoseva *et al.*, 2021).



Gambar 3. Perbandingan jumlah curah hujan dengan penguapan, produksi garam, dan proses kristalisasi pada tunnel plastik dan rumah kristalisasi di Kebumen.

Figure 3. Rainfall fluctuation and salt harvest using plastic tunnel and crystallization house in Kebumen.

(Sumber: The Tropical Rainfall Measuring Mission-NASA; Kugar Cirat Segoro Renges 13 dan Kugar Jagad Kidul dengan pengolahan data)



Tabel 4. (A) Perbandingan selisih suhu lingkungan luar terhadap suhu ruangan tunnel plastik dan rumah kristalisasi; (B) Perbandingan penguapan brine kumulatif (mm) dan perubahan densitas (0Be) di tunnel plastik dan rumah kristalisasi.

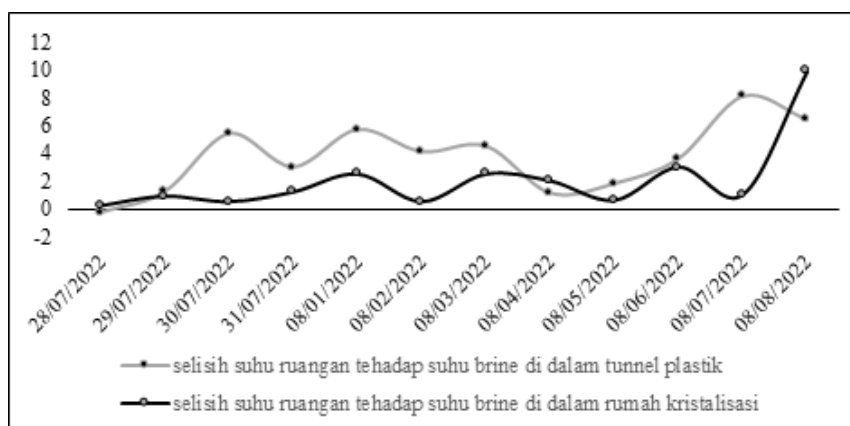
Figure 4. (A) Comparison of the difference between the temperature of the outside environment and the room temperature of the plastic tunnel and the crystallization house; (b) Comparison of cumulative brine evaporation (mm) and density change (0Be) in the plastic tunnel and crystallization house.

Rentang yang luas tersebut diduga berkaitan dengan waktu pengambilan data dan media yang digunakan. Selisih suhu lingkungan luar terhadap kedua media umumnya lebih kecil ketika diukur sebelum pukul 12.00 WIB dan selisihnya akan menjadi semakin signifikan ketika diukur setelah pukul 13.00 WIB. Pada siang hari, terik matahari akan menghasilkan pemanasan yang optimal pada sistem tunnel dan rumah kristalisasi yang sehingga suhu tertinggi dapat tercapai. Selain dapat menghasilkan lingkungan dengan suhu udara yang lebih tinggi, sistem dengan efek rumah kaca juga dapat mempertahankan suhu dalam ruangan untuk lebih tinggi dibanding suhu udara lingkungan terbuka (Jaziri *et al.*, 2018). Perbedaan suhu di tunnel plastik terhadap lingkungan luar lebih tinggi dibandingkan perbedaan suhu di rumah kristalisasi terhadap lingkungan luar. Suhu ruangan tertinggi di tunnel plastik dan rumah kristalisasi masing-masing mencapai 57,4°C dan 51,5°C, sedangkan suhu maksimum lingkungan luar sekitar 43,1°C. Rata-rata selisih suhu dalam ruangan tunnel plastik juga relatif lebih besar ($\pm 12,5^\circ\text{C}$ setara dengan peningkatan suhu 34,4%) dibandingkan dengan rata-rata selisih suhu ruangan rumah kristalisasi terhadap lingkungan luar ($\pm 9,6^\circ\text{C}$ setara dengan peningkatan suhu 26,5%). Meskipun kedua sistem tersebut sama-sama memanfaatkan efek rumah kaca dalam meningkatkan suhu ruangan dan *brine*, namun ukuran rumah kristalisasi yang lebih besar dibanding tunnel plastic serta perbedaan desain dari keduanya dapat menjadi penyebab adanya perbedaan suhu tertinggi yang dapat dicapai.

Kinerja tunnel plastik dan meja kristalisasi dalam menguapkan *brine* terlihat relatif sama yang ditunjukkan dengan data perbandingan penguapan kumulatif dan peningkatan densitas *brine* di kedua media tersebut (Gambar 4B). Pada awalnya penguapan di tunnel

plastik lebih cepat dibandingkan dengan penguapan di rumah kristalisasi. Kondisi tersebut berlangsung hingga hari ke-11, namun menginjak hari ke-12 volume air yang diuapkan dari *brine* menjadi sama. Laju penguapan tertinggi pada kedua media terjadi hingga hari ke-3 yaitu 10-12 mm/hari di tunnel plastik dan 8-9 mm/hari di rumah kristalisasi. Selanjutnya laju penguapan di kedua media berkisar antara 2-5 mm/hari yang fluktuasinya turut dipengaruhi oleh kondisi cuaca harian di luar media sebagaimana tertera pada tabel 1. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa hilangnya air dari *brine* seiring dengan meningkatnya densitas *brine* tersisa di wadah penguapan. Peningkatan densitas *brine* selama proses kristalisasi cenderung sama, ditunjukkan dengan grafik garis putus-putus yang saling berhimpitan antara densitas di tunnel plastik dengan densitas di rumah kristalisasi. Laju evaporasi *brine* akan lebih tinggi pada suhu yang lebih tinggi (Kurniawan, 2019). Penurunan ketinggian air yang lebih cepat akan terjadi ketika laju evaporasi lebih dan sebaliknya akan lebih lambat ketika laju evaporasi rendah (Bramawanto *et al.*, 2019).

Proses kristalisasi garam didukung oleh penguapan *brine* yang salah satunya dipicu oleh perbedaan antara suhu lingkungan/ruangan dengan suhu *brine* (Akridge, 2008). Suhu *brine* tertinggi di tunnel plastik dan rumah kristalisasi masing-masing mencapai 60,4°C dan 53°C, sedangkan suhu ruangan maksimum di tunnel plastik dan rumah kristalisasi masing-masing mencapai 57,4°C dan 51,5°C. Adapun suhu *brine* di meja kristalisasi pada sistem tambak garam tradisional di kawasan Pamekasan adalah 38°C pada 29^oBe (Jayanthi, 2020). Perbedaan suhu yang signifikan diantara suhu ruangan dan suhu *brine* diduga kuat mempengaruhi kecepatan kristalisasi. Selisih suhu antara *brine* terhadap lingkungannya di dalam tunnel plastik berkisar antara



Gambar 5. Selisih suhu ruangan terhadap suhu brine di dalam tunnel plastik dan rumah kristalisasi.

Figure 5. Difference between room temperature and brine temperature in the plastic tunnel and crystallization house.

(Sumber: Hasil penelitian dengan pengolahan data)

0 hingga 8,1°C dengan rata-rata 3,7°C, sedangkan selisih suhu antara *brine* dengan ruangan dalam rumah kristalisasi berkisar antara 0,2 hingga 9,9°C dengan rata-rata 2°C (Gambar 5). Penggunaan tunnel dan rumah kristalisasi memungkinkan proses evaporasi brin untuk terus berlangsung ketika cuaca kurang baik seperti pada saat musim hujan (Kurniawan *et al.*, 2021).

Perbedaan justru terlihat dari tampilan kristal garam yang dihasilkan dari dalam tunnel plastik dan rumah kristalisasi. Suhu *brine* di tunnel yang jauh lebih hangat daripada suhu lingkungannya cenderung membentuk benih kristal yang cepat dan banyak. Sebaliknya, suhu *brine* di rumah kristalisasi yang hanya sedikit lebih hangat dari suhu lingkungannya maka pembentukan benih kristal akan berlangsung lebih lambat dan berjumlah lebih sedikit. Ukuran butiran kristal garam ketika dipanen dari tunnel plastik terlihat lebih besar

dibandingkan dari rumah kristalisasi, terutama pada garam piramid yang dihasilkan dari kedua media. Ukuran kristal garam maksimal dari tunnel plastik sebesar 15 mm x 15 mm, sedangkan ukuran kristal garam maksimal dari rumah kristalisasi hanya 7 mm x 7 mm (Gambar 6). Namun tekstur kristal garam dari rumah kristalisasi lebih padat dan bening dibandingkan dengan kristal garam dari tunnel plastik yang teksturnya rapuh dan berwarna putih (Tabel 5). Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh perbedaan laju dan tingkat pemanasan *brine*. Ini sesuai dengan hasil penelitian (Quilaqueo & Aguilera, 2016) yang menyiratkan bahwa semakin kecil suhu pemanasan *brine* membuat semakin lambat kristal garam terbentuk (*slow crystallization*) dan menghasilkan garam berukuran besar dalam jumlah sedikit.

Disamping itu media meja garam yang berbeda



Gambar 6. (A) Pemanenan garam dari *tunnel* plastik; (B) Garam kristal dari *tunnel* plastik; (C) Garam piramid dari tunnel plastik; (D) Pemanenan garam dari rumah kristalisasi; (E) Garam kristal dari rumah kristalisasi dan (F) Garam piramid dari rumah kristalisasi.

Figure 6. (A) Salt harvesting from plastic tunnels; (B) Crystal salt from tunnel plastic; (C) Pyramid salts from plastic tunnels; (D) Salt harvesting from the crystallization house; (E) Crystal salt from the crystallization house and (F) Pyramid salt from the crystallization house. (Sumber: Dokumentasi penelitian)

Tabel 5. Karakteristik garam yang dihasilkan dari tunnel plastik dan rumah kristalisasi
Table 5. Characteristics of salts produced from plastic tunnels and crystallization houses

Lokasi	Jumlah garam (kilogram)	Jumlah air sisa (liter)	Kristal garam kecil (PxLxT)	Kristal garam sedang (PxLxT)	Garam piramid (PxLxT)	Pengamatan Garam
Tunnel Plastik	16,15	19 39	Ada, ukuran 2x2x2 mm ³ ke-bawah	Ada, ukuran 2x2x2 mm ³ s/d 3x3x3 mm ³	Ada, ukuran maksimal 15x15x15 mm ³	Tekstur mudah pecah dan kurang bening
Rumah kristalisasi	4,25		Ada, ukuran 2x2x2 mm ³ ke-bawah	Ada, ukuran 2x2x2 mm ³ s/d 5x5x5 mm ³	Ada, ukuran maksimal 7x7x7 mm ³	Tekstur padat dan bening

Sumber: Hasil penelitian.

juga dapat mempengaruhi karakteristik garam yang dihasilkan (Arwiyah *et al.*, 2015). Suhu juga memiliki peran penting dalam terbentuknya garam piramid dimana kondisi meta-stabil dari *brine* untuk nukleasi dan pertumbuhan kristal dapat dicapai pada suhu antara 55°C hingga 65°C (ULLAH KHAN *et al.*, 2019). Adapun laporan dari (Mu'min *et al.*, 2021) menyebutkan bahwa bunga garam terbentuk pertama kali di malam hari dan mengendap pada pukul 07.00 WIB pada konsentrasi air laut 25°Be-26°Be dengan suhu udara 30,63°C-31,40°C dan suhu air 34,8°C-36,18°C. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi pembentukan dan ukuran bunga garam adalah suhu, intensitas cahaya matahari serta arah angin (SAINZ-LÓPEZ & BOSKI, 2019).

KESIMPULAN DAN SARAN

Perbedaan kemampuan tunnel plastik dan rumah kristalisasi dalam memerangkap panas menghasilkan kristal garam yang berbeda. Petani garam dapat mengklasifikasikan garam dari tunnel plastik dan rumah kristalisasi berdasarkan perbedaan ukuran, warna dan bentuk kristalnya. Pengelompokan tersebut dapat dimanfaatkan sebagai upaya diversifikasi produk untuk memperluas segmentasi pasar. Performa rumah kristalisasi dalam pembentukan bibit kristal dan percepatan kristalisasi masih belum optimal dibandingkan dengan tunnel plastik. Perlu beberapa alternatif pembenahan agar rumah kristalisasi bisa bekerja dengan optimal dalam meningkatkan dan mempertahankan kalor dalam ruangan diantaranya:

1. Menambah luasan kaca di tembok.
2. Melapisi tembok dan lantai dasar rumah kaca menggunakan plastik HDPE warna hitam.
3. Pengaturan sirkulasi udara jenuh akibat penguapan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih atas saran dan reviuinya kepada Editor in Chief dan tim serta mitra bestari. Terima kasih kepada Bapak Puji (Kugar Jagad Kidul) dan Bapak Budi (Kugar Cirat Segoro Renges 13). Terima kasih kepada mahasiswa PKL UGM yang telah membantu pelaksanaan riset. Penelitian ini merupakan riset mandiri yang dilaksanakan oleh periset BRIN dari beragam Pusat Riset. Seluruh penulis merupakan kontributor utama dengan kontribusi yang setara. AK dan SW merancang riset dan merekam hasil pengamatan; RB membahas pengaruh atmosfer; M, SWW dan MA membahas kinerja media kristalisasi; NRP & ARN membahas karakteristik kristal garam.

Seluruh penulis melakukan koreksi naskah dan menyetujui versi final dari naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akridge, D. G. (2008). Methods for calculating brine evaporation rates during salt production. *Journal of Archaeological Science*, 35(6), 1453–1462. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.10.013>.
- Arwiyah, A., Zainuri, M., & Efendy, M. (2015). Studi Kandungan NaCl di Dalam Air Baku dan Garam yang Dihasilkan serta Produktivitas Lahan Garam Menggunakan Media Meja Garam yang Berbeda. *Jurnal Kelautan*, 8(1), 1–9.
- As-syakur, A. R. (2015). Spatio-temporal variations of rainfall and SST anomaly over Indonesia during ENSO Modoki Event in 2010. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 1(1), 23–29. <https://doi.org/10.24843/jmas.2015.v1.i01.23-29>.
- Bhakti, H. I. K., Masruhi, Listanti, R. (2021). Analisis Kualitas Garam Krosok pada Teknologi Greenhouse Tunnel di Kabupaten Kebumen. *Journal of Agricultural and Biosystem Engineering Research*, 2(2), 50–63. <https://doi.org/10.20884/1.jaber.2021.2.2.5047>.
- Bramawanto, R., & Abida, R. F. (2017). Tinjauan Aspek Klimatologi (ENSO dan IOD) dan Dampaknya Terhadap Produksi Garam Indonesia. *Jurnal Kelautan Nasional*, 12(2), 91–99. <https://doi.org/10.15578/jkn.v12i2.6061>
- Bramawanto, R., & L. Sagala, S. (2016). Meteorological and physical conditions of salt pan areas with filtering-threaded technology (TUF) in Cirebon Regency, Indonesia. *Jurnal Segara*, 12(2), 81–90. <https://doi.org/10.15578/segara.v12i2.7678>
- Bramawanto, R., Triwibowo, H., & Abida, R. F. (2019). Pemanfaatan Teknologi Mikrokontroler Untuk Pengukuran Evaporasi dan Suhu pada Produksi Garam. *Jurnal Kelautan Nasional*, 14(3), 155–164. <https://doi.org/10.15578/jkn.v14i3.7126>
- Dehbi, A., Youssef, B., Chappey, C., Mourad, A.-H. I., Picuno, P., & Statuto, D. (2017). Multilayers polyethylene film for crop protection in harsh climatic conditions. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2017/4205862>

- Harper, C. A. ed. (2002). *Handbook of Plastics, Elastomers, and Composites* (4th ed). McGraw-Hill.
- Helmi, A., & Sasaoka, M. (2018). Dealing with socioeconomic and climate-related uncertainty in small-scale salt producers in rural Sampang, Indonesia. *Journal of Rural Studies*, 59, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.02.005>
- Susanto, H., Rokhati, N., & Santosa, G. W. (2015). Development of traditional salt production process for improving product quantity and quality in Jepara District, Central Java, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 175–178. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.027>
- Huang, G., Wang, R., Liu, J., Gao, L., Liu, M., & Chen, Q. (2022). Seasonally evolving impacts of multiyear La Niña on precipitation in Southern China. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.884604>
- Jaya, N. T. S. P., Hartati, R., & Widianingsih, W. (2016). Produksi Garam dan Bittern di Tambak Garam. *Jurnal Kelautan Tropis*, 19(1), 43–47. <https://doi.org/10.14710/jkt.v19i1.599>
- Jayanthi, O. W. (2020). Preliminary study: Water quality parameter analyzes of salt evaporation ponds in Kecamatan Galis Kab. Pamekasan, East Java. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(1), 132–134. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2020.004.01.19>
- Jaziri, A. A., Guntur, Setiawan, W., Prihanto, A. A., & Kurniawan, A. (2018). Preliminary design of a low-cost greenhouse for salt production in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 137, 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/137/1/012054>
- Joetidawati, M. I., & Suwarsih, S. (2019). Pelatihan Produksi Garam Rakyat dengan Metode Tunnel Bersirip. *Jurnal Ilmiah Abdi Mas TPB Unram*, 1(2), 42–46. <https://doi.org/10.29303/amtpb.v1i2.26>
- Khan, F. U., Mumtaz, M., Theseen, A., & Hassan, A. (2019). Laboratory scale study for the control crystallization of sodium chloride pyramid crystals (fleur de sel), prepared by solar salt. *Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan*, 73, 81–84.
- Kurniadi, A., Weller, E., Min, S., & Seong, M. (2021). Independent ENSO and IOD impacts on rainfall extremes over Indonesia. *International Journal of Climatology*, 41(6), 3640–3656. <https://doi.org/10.1002/joc.7040>
- Kurniawan, A. (2019). Indeks Kesesuaian Garam (IKG) untuk Menentukan Kesesuaian Lokasi Produksi Garam: Analisis Lokasi Produksi Garam di Kabupaten Tuban dan Kabupaten Probolinggo. *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 3(2), 119–127. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2019.003.02.14>
- Kurniawan, A., Amin, A. A., Ardian, G., Mahasin, M. Z., & Kuncoro, R. D. (2021). Analysis of salt production location using the salt location suitability index to apply the continuously dynamic mixing in the greenhouse salt tunnel in North Aceh and East Aceh. *Jurnal Segara*, 17(2), 97–106. <https://doi.org/10.15578/segara.v17i2.8529>
- Kurniawan, A., Syafi'i, M. I., Ardian, G., Jaziri, A. A., Amin, A. A., Budiyanoto, B., Amenan, M., Salamah, L. N., Setiawan, W. B. (2019). Continuously dynamic mixing (CDM) method and greenhouse salt tunnel (GST) technology for sea salt production throughout the year. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 11(2), 82–91. <https://doi.org/10.20473/jipk.v11i2.13480>
- Lestari, D. O. (2019). Impact of 2016 weak La Nina Modoki event over the Indonesian Region. *International Journal of GEOMATE*, 17(61), 156–162. <https://doi.org/10.21660/2019.61.8256>
- Listanti, R., & Musthafa, M. B. (2020). Pengaruh Jumlah Tunnel dan Teknik Produksi Terhadap Mutu Garam Rakyat dengan Teknologi Greenhouse Salt Tunnel. *Prosiding Semnas LPPM Unsoed*, 64–70.
- Mahasin, M. Z., Rochwulaningsih, Y., & Sulistiyono, S. T. (2020). Coastal ecosystem as salt production centre in Indonesia. In B. Warsito, Sudarno, T. Triadi Putranto (Eds.), *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020207042>
- Mu'min, B. K., Kartika, A. G. D., Efendy, M. (2021).

- Parameter Lingkungan, Kadar Air dan NaCl Bunga Garam (Fleur De Sel). *Journal of Marine Research*, 10(4), 570–580. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i4.32290>
- Nur, M., Marhaendrajaya, I., Sugito, S., Windarti, T., Arnelli, A., Hastuti, R., Haris, A., Rahmanto, W. H., Widodo, D. S., Ariyanto, F., Muhlisin, Z., Suseno, J. E., Setiawati, E., Sutanto, H., Priyono, P., Izzati, M., Hariyati, R., Tana, S., Raharjo, B., Ispriyanti, D., Farikhin, Rusgiyono, A., & Suhartono. (2013). Pengayaan Yodium dan Kadar NaCl pada Garam Krosok Menjadi Garam Konsumsi Standar SNI. *Jurnal Sains Dan Matematika*, 21(1), 1–6.
- Prapanca, I. M. R. A., & Batan, I. M. L. (2015). *Studi Eksperimental Material Termoplastik Alternatif untuk Produk Helm Standar*. Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Quilaqueo, M., & Aguilera, J. M. (2016). Crystallization of NaCl by fast evaporation of water in droplets of NaCl solutions. *Food Research International*, 84, 143–149. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.03.030>
- Rusiyanto, R., Soesilowati, E., & Jumaeri, J. (2013). Penguatan Industri Garam Nasional Melalui Perbaikan Teknologi Budidaya dan Diversifikasi Produk. *Saintekol: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 11(2), 129–142.
- Sainz-Lopez, N., & Boski, T. (2019). Is all Fleur de sel the same? Experience from artisanal saltworks in Castro Marim, Portugal. *Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan*, 73(2), 76–80.
- Semenov, V., Zhukov, A., Pilipenko, A., Mednikova, E. (2021). Effective thermal insulation based on recycled polyethylene. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1030(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1030/1/012026>
- Sethi, V. P. (2009). On the selection of shape and orientation of a greenhouse: Thermal modeling and experimental validation. *Solar Energy*, 83(1), 21–38. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.05.018>
- Suhendra, A. (2016). Increasing the productivity of salt trough HDPE geomembrane Indonesia case history in salt evaporation pond. *EJGE*, 11, 4272–4280.
- Yoseva, V., Indriyawati, N., Pratiwi, W. S. W., Efendy, M. (2021). Hubungan Fluktuasi Parameter Fisika dalam Produksi Garam Rich Minerals dengan Media Prototype di Salt House. *Rekayasa*, 14(3), 373–380. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v14i3.12556>
- Yulihastin, E., P, M. F., Suaydhi, S., Sofiati, I. (2021). Oceanic effect on precipitation development in the maritime continent during anomalously-wet dry seasons in Java. *Indonesian Journal of Geography*, 53(3), 328–339. <https://doi.org/10.22146/ijg.63543>
- Yuniasih, B., Harahap, W. N., Wardana, D. A. S. (2023). Anomali Iklim El Nino dan La Nina di Indonesia pada 2013-2022. *AGROISTA: Jurnal Agroteknologi*, 6(2), 136–143. <https://doi.org/10.55180/agi.v6i2.332>