

Application of Tunnel-Based Salt House Technology to Support Local Salt Industrialization in the Sangihe Islands, Indonesia

(Penerapan Teknologi Rumah Garam Berbasis Tunnel untuk Mendukung Industrialisasi Garam Lokal di Kabupaten Kepulauan Sangihe, Indonesia)

Ely John Karimela*, Jaka Frianto Putra Palawe, Firai Salasa

North Nusa State Polytechnic, Indonesia

*Corresponding author: karimelaelyjohn@gmail.com

Manuscript received: 19 May, 2026. Revision accepted: 27 June 2026

Abstract. Indonesia's reliance on imported salt, particularly for industrial needs, underscores the urgent need for technological innovation in local salt production. This study investigates the application of tunnel-based salt house technology as a strategic solution to develop local salt industrialization in the Sangihe Islands, a maritime region with 93.8% ocean coverage and pristine seawater quality. The research aimed to evaluate the efficiency and effectiveness of tunnel salt houses in increasing production and improving product quality. The experiment was conducted from July to August at the Fisheries Handling Workshop, Politeknik Negeri Nusa Utara, using seawater, UV-transparent plastic, geomembrane tarpaulin, and PVC frameworks. Quantitative descriptive analysis was applied to assess salt yield, NaCl purity, moisture content, and contaminant levels (Mg, Ca, Hg). The results showed that tunnel systems increased evaporation rates and salt yield up to 1.5–2 times compared to traditional methods, with crystallization periods reduced from 10–14 days to 4–6 days. The produced salt contained 79% NaCl, magnesium levels between 1.56–2.78 mg/kg, calcium levels between 289–305 mg/kg, and mercury concentrations below the national limit of 0.1 mg/kg. Although the NaCl concentration remains below the Indonesian National Standard (SNI 3556:2016), the tunnel design demonstrated significant potential to enhance salt quality and ensure production continuity even during high rainfall. The study concludes that tunnel-based salt house technology is technically and economically feasible for the Sangihe Islands, contributing to local salt industrialization and national self-sufficiency efforts.

Keywords: Geomembrane, Salt, Sangihe, Tunnel

Abstrak. Ketergantungan Indonesia terhadap impor garam, terutama untuk kebutuhan industri, menunjukkan urgensi inovasi teknologi dalam produksi garam lokal. Penelitian ini mengkaji penerapan teknologi rumah garam berbasis tunnel sebagai solusi strategis untuk mendorong industrialisasi garam lokal di Kepulauan Sangihe, wilayah maritim dengan luas perairan mencapai 93,8% dan kualitas air laut yang masih alami. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi efisiensi dan efektivitas teknologi rumah garam tunnel dalam meningkatkan produksi dan mutu garam yang dihasilkan. Penelitian dilakukan pada bulan Juli hingga Agustus di Workshop Penanganan Hasil Perikanan, Politeknik Negeri Nusa Utara, menggunakan bahan air laut, plastik UV transparan, terpal geomembran, dan rangka PVC. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif untuk menilai hasil produksi garam, kadar NaCl, kadar air, serta kandungan pengotor seperti Mg, Ca, dan Hg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem tunnel mampu meningkatkan laju evaporasi dan hasil produksi hingga 1,5–2 kali lipat dibanding metode tradisional, dengan waktu kristalisasi yang lebih singkat (4–6 hari dibanding 10–14 hari). Garam yang dihasilkan memiliki kadar NaCl sebesar 79%, kandungan magnesium 1,56–2,78 mg/kg, kalsium 289–305 mg/kg, dan merkuri di bawah batas aman SNI (0,1 mg/kg). Meskipun kadar NaCl belum memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI 3556:2016), desain rumah garam tunnel terbukti efektif meningkatkan kualitas dan memungkinkan produksi berkelanjutan meskipun pada musim hujan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa teknologi rumah garam berbasis tunnel layak diterapkan secara teknis dan ekonomis di Kepulauan Sangihe untuk mendukung industrialisasi garam lokal dan kemandirian garam nasional.

Kata Kunci: Garam, Geomembran, Sangihe, Tunnel

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan, memiliki potensi besar dalam produksi garam lokal, terutama di wilayah pesisir seperti Kepulauan Sangihe. Meskipun memiliki potensi signifikan tersebut, Indonesia masih menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan garam domestik, bahkan menjadi salah satu importir garam terbesar di dunia. Menurut (Karimela *et al.*, 2025) menyatakan bahwa Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki luas lahan garam

43.052,10 Ha, tetapi sekitar 25.702,06 Ha (59,7%) dapat dimanfaatkan untuk memproduksi garam. Garam merupakan salah satu komoditas strategis yang dibutuhkan dalam berbagai sektor, mulai dari konsumsi rumah tangga hingga industri besar seperti farmasi, petrokimia, dan pengawetan makanan. Meskipun demikian, produksi garam di Indonesia, khususnya untuk kebutuhan industri, masih belum mampu memenuhi permintaan domestik yang terus meningkat, mengakibatkan ketergantungan pada impor (Putri et al., 2021).

Kebutuhan nasional terhadap garam di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya, namun kapasitas produksi dalam negeri belum mampu mencukupi kebutuhan tersebut sehingga masih dilakukan impor dalam jumlah besar. Sebagai contoh, volume impor garam di Indonesia terus bertumbuh secara konsisten, menunjukkan adanya defisit produksi yang signifikan dalam memenuhi permintaan pasar domestik (Amin et al., 2025). Kondisi ini menunjukkan pentingnya pengembangan teknologi produksi garam untuk mendukung kemandirian bangsa.

Kabupaten Kepulauan Sangihe merupakan daerah kepulauan yang memiliki potensi sumber daya laut yang sangat besar, dengan luas wilayah perairan mencapai 93,8% dari total wilayah administrasinya. Menurut Balitbang-KKP, 2016 menyatakan bahwa Kabupaten Kepulauan Sangihe memiliki luas sekitar 11.863,58 km², dengan luas daratan 736,98 km² (6,2%) dan lautan 11.126,61 km² (93,8%). Data tersebut mengindikasikan bahwa wilayah Kabupaten Sangihe didominasi oleh perairan laut, sehingga memiliki potensi yang signifikan untuk pengembangan sektor perikanan dan kelautan, termasuk industri pengolahan garam (Karimela et al., 2025). Potensi kelautan yang besar ini belum sepenuhnya dimanfaatkan, khususnya dalam sektor produksi garam. Padahal, kondisi geografis Sangihe sangat mendukung pengembangan garam karena dikelilingi laut lepas yang bersih dan relatif belum tercemar. Potensi ini memungkinkan produksi garam berkualitas tinggi melalui metode evaporasi, meskipun seringkali terkendala oleh kondisi iklim dan cuaca yang tidak menentu (Kuncoro et al., 2022). Faktanya, hanya sebagian kecil dari wilayah pesisir Indonesia yang memenuhi syarat untuk produksi garam surya, yang memerlukan kondisi iklim dan cuaca spesifik, termasuk tingkat evaporasi tinggi dan kecepatan angin yang memadai (Prihantini et al., 2024).

Perairan di Sangihe relatif masih bersih dan jauh dari pencemaran industri, sehingga memiliki kualitas air laut yang baik untuk dijadikan bahan baku produksi garam. Namun hingga kini, belum terdapat kegiatan produksi garam rakyat di daerah kepulauan sangihe. Hal ini menyebabkan potensi besar yang dimiliki Sangihe belum dimanfaatkan secara optimal. Hal ini menunjukkan adanya peluang besar untuk mengembangkan industri garam lokal di Kepulauan Sangihe, terutama dengan penerapan teknologi modern seperti rumah garam berbasis tunnel untuk mengatasi keterbatasan kondisi iklim dan meningkatkan efisiensi produksi (Prihantini et al., 2024). Pemanfaatan teknologi rumah garam berbasis tunnel ini diharapkan dapat mengatasi kendala curah hujan yang tinggi dan kondisi cuaca yang tidak menentu, memungkinkan produksi garam sepanjang tahun dengan kualitas yang lebih konsisten (Lukum et al., 2021).

Hingga saat ini, di Kabupaten Kepulauan Sangihe belum terdapat usaha produksi garam secara komersial. Masyarakat setempat masih bergantung pada pasokan garam dari luar daerah, khususnya dari Jawa dan Sulawesi Selatan. Ketergantungan ini menciptakan kerentanan pasokan dan stabilitas harga, serta menghambat potensi ekonomi lokal yang dapat digali melalui industrialisasi garam (Kairupan dan Manoppo,

2021). Kondisi ini membuat harga garam di Sangihe relatif lebih tinggi, dan pasokan seringkali terganggu ketika distribusi dari luar terhambat. Oleh karena itu, produksi garam lokal berbasis teknologi tunnel dapat menjadi solusi strategis untuk kemandirian pangan mineral di wilayah ini.

Teknologi tunnel garam yang telah diujicobakan di beberapa daerah lain di Indonesia terbukti dapat meningkatkan produksi garam meski di musim hujan. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa metode rumah garam berbasis tunnel memiliki potensi besar untuk mengatasi tantangan cuaca ekstrem dan keterbatasan lahan yang dihadapi oleh petani garam tradisional (Prihantini *et al.*, 2024). Penerapan inovasi ini juga dapat mengoptimalkan pemanfaatan lahan pesisir yang terbatas dan meningkatkan kualitas garam yang dihasilkan sesuai standar industri. Penelitian yang dilakukan di Jepara menunjukkan bahwa penerapan teknologi ini mampu menjaga keberlanjutan produksi garam sepanjang tahun dengan hasil yang lebih stabil dan berkualitas. Selain itu, penggunaan geomembran dan optimalisasi lahan juga terbukti dapat meningkatkan produktivitas garam secara signifikan (Fauziyah *et al.*, 2023).

Hal ini menjadi peluang besar jika diterapkan di Kepulauan Sangihe, mengingat kondisi iklim tropis dengan curah hujan tinggi sering menghambat produksi garam secara tradisional. Faktanya, penggunaan geomembran dalam produksi garam telah terbukti meningkatkan hasil hingga 0,228% untuk setiap peningkatan penggunaan 1% (Fauziyah *et al.*, 2023). Pemanfaatan teknologi ini juga mendukung peningkatan efisiensi penguapan dan mengurangi kontaminasi, yang krusial untuk menghasilkan garam berkualitas industri.

Sesuai dengan uraian di atas jelas bahwa penerapan teknologi rumah garam berbasis tunnel di Kabupaten Kepulauan Sangihe bukan hanya memungkinkan secara teknis, tetapi juga strategis dalam mendukung industrialisasi garam lokal. Pengembangan ini sejalan dengan upaya pemerintah untuk meningkatkan produksi garam nasional dan mengurangi ketergantungan impor, yang saat ini masih tinggi dengan volume impor mencapai jutaan ton per tahun. Dengan potensi laut yang bersih yang belum tercemar, kebutuhan nasional yang tinggi, serta peluang sosial ekonomi masyarakat nelayan, penelitian ini menjadi sangat relevan untuk mendorong kemandirian produksi garam di Indonesia khususnya di Kepulauan Sangihe.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Workshop Penanganan Hasil Perikanan, Jurusan Teknologi Perikanan dan Kebaharian - Politeknik Negeri Nusa Utara untuk percobaan rumah garam tunnel dengan durasi penelitian yaitu bulan Januari sampai bulan Maret. Bahan yang diterapkan pada penelitian ini adalah air laut, plastik UV bening sebagai penutup tunnel, kayu, PVC untuk rangka rumah garam, terpal geomembran, serta ember, gelas ukur. Sedangkan alat yang digunakan adalah refraktometer, timbangan digital, alat pencatat data, kamera dokumentasi, dan alat ukur salinitas, baummeter. Selanjutnya, analisis data hasil pengujian akan dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas teknologi rumah garam berbasis tunnel dalam meningkatkan produksi dan kualitas garam (Amin *et al.*, 2025).

Hasil pengamatan di laboratorium terhadap serangkaian uji merupakan data kuantitatif analisis deskriptif yang disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan uraian naratif untuk melihat efektivitas teknologi rumah garam berbasis tunnel. Penilaian ini akan mencakup perbandingan antara kondisi produksi garam tradisional dan sistem

tunnel, dengan fokus pada peningkatan kuantitas dan kualitas output yang signifikan (Prabawa dan Bramawanto, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Rumah Tunnel Garam

Penjelasan desain ini akan mencakup detail mengenai material konstruksi, dimensi, serta fitur-fitur khusus yang mendukung proses kristalisasi garam secara efisien. Rumah garam berbasis tunnel didesain menyerupai rumah plastik dengan rangka kayu dan atap plastik UV transparan. Bentuk melengkung (tunnel) berfungsi mengoptimalkan penyerapan panas matahari dan meminimalkan pengaruh hujan/angin. Di dalam tunnel dipasang terpal geomembran alas sebagai media evaporasi air laut. Desain rumah garam dalam dilihat pada Gambar 1.



Figure 1. The results of the tunnel salt house model design containing seawater

Desain rumah garam berbasis tunnel Secara spesifik, desain ini mengintegrasikan prinsip-prinsip termodinamika untuk memaksimalkan laju evaporasi dan kristalisasi, serta memastikan stabilitas suhu dan kelembaban di dalam struktur, yang esensial untuk produksi garam berkualitas tinggi dan berkelanjutan (Rochwulaningsih *et al.*, 2019). Penggunaan material seperti geomembran untuk alas dan plastik UV bening sebagai penutup tidak hanya bertujuan untuk meningkatkan penyerapan panas matahari dan mengurangi kontaminasi, tetapi juga untuk menciptakan lingkungan mikro yang terkontrol di dalam tunnel (Ravivarman *et al.*, 2023). Keunggulan ini memungkinkan produksi garam tetap optimal bahkan di musim hujan, mengatasi tantangan iklim tropis dengan curah hujan tinggi yang sering menghambat produksi garam tradisional (Mirandi *et al.*, 2019). Parameter kualitas air seperti suhu, salinitas, dan pH akan terus dipantau secara berkala untuk memastikan kondisi optimal bagi proses kristalisasi garam.

Sistem ini memungkinkan penguapan berlangsung lebih cepat, terkendali, dan higienis dibanding penjemuran terbuka. Selain itu, desain tunnel juga meminimalisir dampak angin dan kontaminasi partikel asing, yang seringkali menjadi masalah dalam metode produksi garam konvensional. Inovasi ini sejalan dengan program pemerintah Indonesia untuk memberdayakan petani garam melalui adopsi teknologi yang kompatibel dengan sumber daya lokal dan kondisi iklim, meskipun seringkali implementasi penuh teknologi baru masih menjadi tantangan bagi petani tradisional. Teknik penguapan ini juga mengadopsi prinsip efek rumah kaca, di mana panas matahari terperangkap di dalam struktur, meningkatkan suhu internal dan mempercepat proses evaporasi air laut menjadi kristal garam. Pendekatan ini menyerupai fungsi solar still yang memanfaatkan energi surya untuk penguapan air laut dan kondensasi uap air (Arifin *et al.*, 2023).

Hasil Garam

Produksi garam menggunakan rumah tunnel menunjukkan peningkatan kuantitas dibandingkan metode tradisional. Rata-rata laju penguapan harian yang lebih tinggi di dalam tunnel, didukung oleh pengaturan suhu dan kelembaban yang optimal, berkontribusi signifikan terhadap volume panen garam yang lebih besar (Muljani *et al.*, 2022). Rata-rata produksi garam dapat meningkat 1,5–2 kali lipat, dengan waktu kristalisasi lebih singkat (4–6 hari) dibanding metode konvensional yang bisa mencapai 10–14 hari. Hal ini menunjukkan efisiensi waktu dan peningkatan produktivitas yang signifikan, memungkinkan siklus produksi yang lebih cepat dan volume hasil garam yang lebih besar dalam periode waktu yang sama. Peningkatan ini juga berpotensi mengurangi biaya operasional per unit produksi karena efisiensi penggunaan lahan dan waktu, yang sangat penting untuk mencapai skala industrialisasi garam (Prihantini *et al.*, 2024).



Figure 2. Clean salt produced from a tunnel-based salt house

Faktor iklim mikro dalam tunnel (kelembaban rendah dan suhu tinggi) berkontribusi signifikan terhadap percepatan evaporasi. Kondisi ini memungkinkan peningkatan kadar NaCl dan pengurangan impuritas, sesuai dengan standar farmakope yang diperlukan untuk garam farmasi (Widjaja *et al.*, 2023). Kualitas garam yang dihasilkan juga cenderung lebih tinggi, dengan tingkat kemurnian NaCl yang lebih baik dan kontaminasi oleh partikel asing atau mikroorganisme yang lebih rendah dibandingkan dengan metode tradisional (Fachrurrazi . *et al.*, 2023).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari 10 liter air laut tua dapat dihasilkan 350-gram garam melalui sistem rumah tunnel. Jumlah ini masih sedikit lebih rendah dibandingkan temuan Utami *et al.* (2021) yang melaporkan hasil 400–500 gram dari volume air laut yang sama menggunakan sistem serupa. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh kondisi iklim mikro dalam tunnel yang belum optimal serta faktor intensitas cahaya matahari selama penelitian berlangsung. Meski demikian, hasil yang diperoleh tetap lebih tinggi dibandingkan metode tradisional yang rata-rata menghasilkan 250–300 gram dari 10 liter air laut (Putra *et al.*, 2018). Dengan demikian, penerapan teknologi rumah garam tunnel terbukti dapat meningkatkan kuantitas produksi sekaligus menjaga kualitas garam. Peningkatan kualitas garam, serta penurunan kadar *Ca* dan *Mg*, yang krusial untuk memenuhi Standar Nasional Indonesia (Lukum *et al.*, 2021). Peningkatan kualitas ini tidak hanya memenuhi persyaratan standar nasional, tetapi juga berpotensi membuka pasar baru untuk garam lokal yang sebelumnya terbatas pada penggunaan konsumsi rumah tangga (Chasanah *et al.*, 2019). Penggunaan rumah tunnel juga berpotensi meningkatkan kualitas garam hingga memenuhi standar farmasi, yang memiliki persyaratan ketat terkait kadar natrium klorida dan kandungan impuritas seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , dan K^+ (Widjaja *et al.*, 2024).

Pengujian Kadar Garam (NaCl)

Analisis mendalam terhadap kadar NaCl, serta kandungan ion-ion pengotor seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , dan K^+ , akan mengkonfirmasi efektivitas teknologi rumah tunnel dalam memproduksi garam dengan kemurnian tinggi yang sesuai kebutuhan industri. NaCl atau natrium klorida merupakan komponen utama dalam garam yang menentukan kualitas serta kegunaan utamanya sebagai penyedap dan pengawet makanan. Nilai Kadar NaCl dapat dilihat pada gambar 3.



Figure 3. Graph of NaCl content in salt from a tunnel-based salt house based on three tests

Berdasarkan hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa kadar NaCl garam yang dihasilkan melalui tunnel rata-rata adalah 79,0%. Menurut SNI 3556:2016, kadar minimal NaCl pada garam konsumsi beryodium adalah 94%. Dengan demikian, nilai 79% jauh di bawah standar dan mengindikasikan garam ini memiliki banyak kotoran atau mineral lain yang terbawa selama proses produksi (BSN, 2016). Tingginya tingkat pengotor ini, yang ditandai dengan kadar NaCl yang rendah, mengindikasikan bahwa metode produksi yang digunakan saat ini belum optimal dalam memisahkan mineral-mineral lain dari kristal garam, sehingga diperlukan penyempurnaan pada proses kristalisasi dan purifikasi lebih lanjut (*Silviana et al.*, 2020). Kandungan kalsium dan magnesium adalah anion dominan kedua di air laut setelah klorin dan natrium, yang perlu diminimalkan untuk mencapai standar kualitas garam yang lebih tinggi (*Apriani*, 2018). Peningkatan kemurnian ini dapat dicapai melalui metode pencucian berulang atau rekristalisasi, yang secara signifikan mengurangi kontaminan dan memenuhi standar industri maupun farmasi (*Ali et al.*, 2024). Metode purifikasi lanjutan ini, seperti pengendapan ion sulfat dan magnesium pada tahap awal, dapat meningkatkan kemurnian NaCl hingga lebih dari 99,50%, menjadikannya layak untuk aplikasi laboratorium sebagai reagen analitis (*Rismana et al.*, 2024).

Kandungan NaCl yang rendah akan memengaruhi cita rasa, efektivitas sebagai bahan pengawet, serta stabilitas dalam fortifikasi yodium. Dalam jangka panjang, mutu garam dengan kadar NaCl rendah dapat menurunkan daya saing produk di pasar. Oleh karena itu, upaya peningkatan kadar NaCl hingga memenuhi standar SNI merupakan langkah krusial untuk memastikan keberlanjutan dan daya saing industri garam lokal, sekaligus memungkinkan fortifikasi yodium yang efektif sesuai standar kesehatan (*Haq*, 2023) (*Widjaja et al.*, 2019). Peningkatan kadar NaCl yang signifikan juga penting untuk memenuhi berbagai kebutuhan industri, karena sektor kimia membutuhkan kemurnian lebih dari 97%, sedangkan sektor farmasi memerlukan kemurnian hingga 99% (*Ali et al.*, 2024).

Pengujian Kadar Air

Kadar air merupakan parameter penting dalam mutu garam karena memengaruhi daya simpan dan kualitas organoleptik. Nilai kadar air bisa dilihat pada gambar 4.

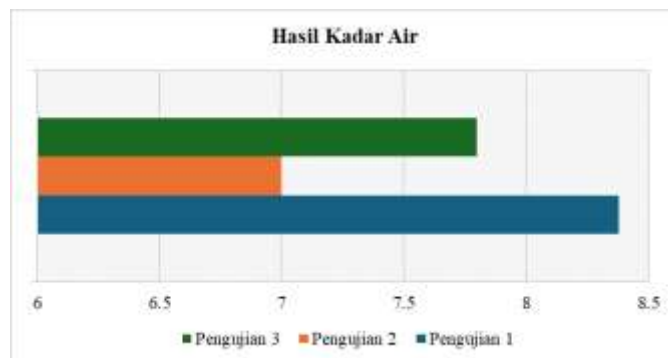


Figure 4. Graph of moisture content in salt from a tunnel-based salt house based on three tests

Hasil uji menunjukkan kadar air sangat bervariasi, pengujian I sebesar 8,38%, Pengujian ke II 7 % dan Pengujian ke III 7,8 %. Variasi kadar air ini dapat disebabkan oleh perbedaan kondisi pengeringan, kelembaban udara, atau waktu penjemuran, yang semuanya memengaruhi efisiensi proses evaporasi dalam rumah tunnel. Menurut SNI3556:2016, kadar air maksimum untuk garam konsumsi beryodium adalah 7%. Oleh karena itu, hasil pengujian kedua yang mencapai 7% sudah memenuhi standar SNI, sementara hasil pengujian pertama dan ketiga masih memerlukan optimasi lebih lanjut dalam proses pengeringan untuk mencapai standar yang ditetapkan. Kadar air yang tidak memenuhi standar dapat mengakibatkan aglomerasi, mengurangi kemampuan alir, dan mempercepat degradasi mutu garam selama penyimpanan, sehingga diperlukan pengaturan suhu dan kelembaban yang lebih presisi di dalam rumah tunnel. Menurut Muslimah *et al.*, 2024 menyatakan bahwa proses penguapan air laut ini sangat tergantung dengan besarnya intensitas cahaya matahari. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari maka semakin cepat proses penguapan air laut. Selain itu, kadar air yang tinggi dapat menghambat proses iodisasi, karena kelembaban berlebih dapat mempercepat dekomposisi kalium iodat yang ditambahkan, mengurangi efektivitas fortifikasi yodium (Silviana *et al.*, 2020). Optimalisasi kondisi dalam rumah tunnel, termasuk kontrol kelembaban dan suhu, menjadi krusial untuk memastikan garam yang dihasilkan tidak hanya memenuhi standar kadar air tetapi juga mampu mempertahankan integritas senyawa yodium yang ditambahkan (Baroroh *et al.*, 2018); (Silviana *et al.*, 2020).

Pengujian Magnesium (Mg)

Magnesium merupakan mineral esensial yang terdapat secara alami dalam garam laut maupun garam hasil evaporasi. Kandungan magnesium dalam garam berkontribusi terhadap rasa yang sedikit pahit, tetapi juga memiliki manfaat kesehatan karena magnesium berperan penting dalam metabolisme energi, fungsi otot, dan transmisi saraf. Namun, kadar magnesium yang berlebihan dapat memengaruhi kristalisasi garam, mengurangi kemurnian NaCl, dan menyebabkan garam mudah menyerap air (Fitri, 2024). Nilai kadar Magnesium bisa dilihat pada gambar 5.

Hasil uji I menunjukkan kadar magnesium sebesar 2,779 mg/kg, hasil pengujian II 1, 564 mg/kg dan pengujian ke III sebesar 1, 579 mg/kg yang tergolong rendah dan masih aman untuk konsumsi. Meskipun demikian, untuk aplikasi industri tertentu seperti farmasi, kadar magnesium perlu diminimalisasi lebih lanjut guna mencapai tingkat kemurnian yang sangat tinggi (Nurjanah *et al.*, 2021). Standar nasional untuk garam belum secara spesifik mengatur batas atas kadar magnesium, namun kadar magnesium yang rendah dianggap indikator kualitas yang lebih baik untuk aplikasi farmasi. Meskipun demikian, kadar magnesium yang berlebihan, bahkan sedikit di atas

1 mg dari asupan harian, dapat memicu efek samping yang tidak diinginkan dan terkait dengan berbagai kondisi kesehatan seperti stroke, diabetes, dan hipertensi.

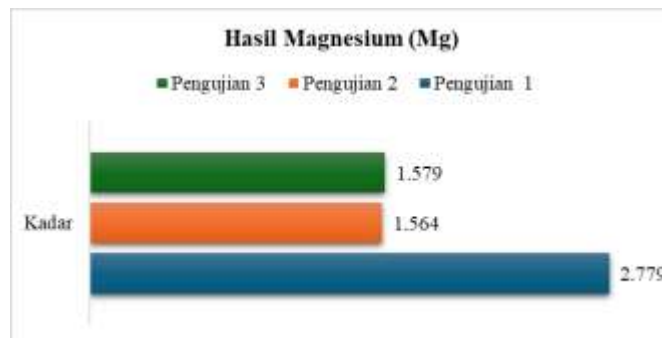


Figure 5. Graph of magnesium content in salt from a tunnel-based salt house based on three tests

Dalam industri pangan, kandungan magnesium yang terlalu tinggi sering dihindari karena dapat mempengaruhi rasa. Oleh sebab itu, kadar magnesium rendah dalam hasil uji ini mengindikasikan garam tersebut lebih netral dari segi organoleptik, sehingga cocok untuk penggunaan dapur sehari-hari. Selain itu, kadar magnesium yang rendah meningkatkan stabilitas garam terhadap kelembaban, mengurangi kecenderungan penggumpalan, dan memperpanjang umur simpannya, yang merupakan faktor penting dalam distribusi dan penyimpanan produk. Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk garam konsumsi tidak secara spesifik menetapkan batas magnesium, tetapi lebih menekankan pada kandungan NaCl dan kontaminan logam berat (BSN, 2016). Dengan demikian, kadar magnesium pada sampel ini aman, tidak melebihi batas toleransi, serta memberikan tambahan kecil pada kebutuhan mineral tubuh tanpa menimbulkan efek negative.

Pengujian Kalsium (Ca)

Kalsium merupakan mineral penting untuk pembentukan tulang, gigi, serta fungsi enzimatis dan transmisi sinyal saraf. Dalam garam, kalsium biasanya hadir sebagai kalsium sulfat atau kalsium karbonat yang terbawa dari proses alami penguapan air laut. Nilai Kadar Kalsium bisa dilihat pada gambar 6.

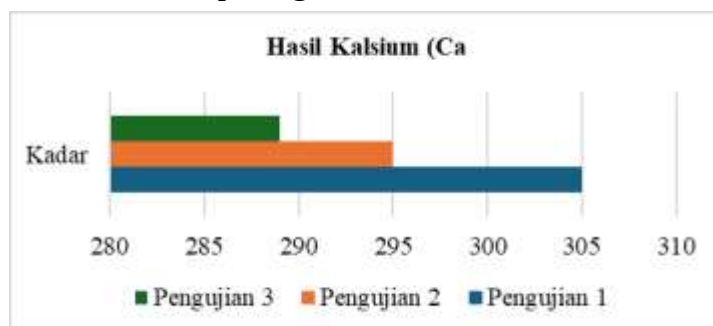


Figure 6. Graph of potassium content in salt from a tunnel-based salt house based on three tests

Hasil uji laboratorium, pengujian I menunjukkan kadar kalsium sebesar 305 mg/kg. Pengujian ke II menunjukkan 295 mg/kg, dan pengujian ke III sebesar 289 mg/kg. standar nasional indonesia belum menetapkan batas maksimum spesifik untuk kalsium dalam garam konsumsi beryodium, namun kadar kalsium yang tinggi dapat memengaruhi tekstur dan kejernihan larutan garam. Sebaliknya, keberadaan kalsium pada tingkat yang moderat dapat memberikan stabilitas pada kristal garam, namun kadar berlebih dapat menyebabkan pengendapan atau kekeruhan, terutama pada aplikasi

industri yang membutuhkan larutan garam bening (Tarmizi *et al.*, 2021). Oleh karena itu, meskipun tidak ada batasan eksplisit dalam SNI, kontrol kadar kalsium dalam proses produksi garam tetap relevan untuk menghindari dampak negatif pada kualitas produk dan potensi masalah kesehatan jika dikonsumsi berlebihan secara jangka panjang (Rubak *et al.*, 2024).

Kadar kalsium pada garam dapat memengaruhi kualitas produk. Jumlah kalsium yang terlalu tinggi dapat menyebabkan garam terasa getir atau memiliki tekstur yang kurang halus. Namun, kandungan kalsium pada level ini masih relatif rendah dan tidak memengaruhi mutu garam secara signifikan.

Pengujian Merkuri (Hg)

Merkuri adalah logam berat beracun yang dapat terakumulasi dalam tubuh dan menimbulkan dampak kesehatan serius, termasuk gangguan saraf, ginjal, dan sistem imun. Nilai kadar Merkuri bisa dilihat pada gambar 7.

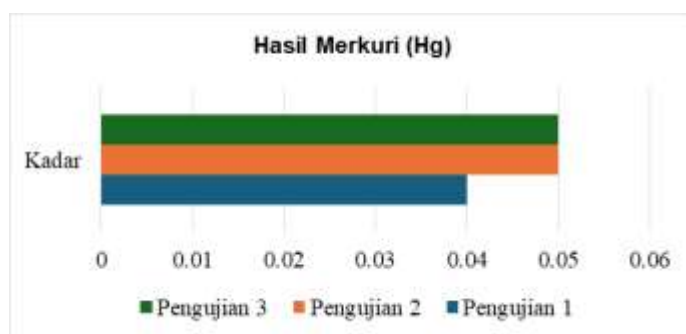


Figure 7. Graph of mercury content in salt from a tunnel-based salt house based on three tests

Hasil pengujian I menunjukkan kadar merkuri pada garam sebesar 0,04 mg/kg, pengujian II memiliki kadar merkuri 0,05 mg/kg dan pengujian ke III sebesar 0,04 mg/kg. Angka-angka ini harus dibandingkan dengan batas maksimum yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional, yang biasanya sangat ketat untuk logam berat (Nurjanah *et al.*, 2021). Peraturan SNI 3556:2016 mengenai garam konsumsi beryodium menetapkan batas maksimum merkuri sebesar 0,1 mg/kg, sehingga hasil pengujian ini menunjukkan bahwa garam yang diproduksi berada di bawah ambang batas yang diizinkan dan aman untuk dikonsumsi (Indriyani *et al.*, 2023) (Yusni & Amiruddin, 2020). Meskipun demikian, keberadaan merkuri, bahkan dalam konsentrasi rendah, memerlukan pemantauan berkelanjutan untuk memastikan produk garam tetap bebas dari kontaminasi, terutama karena sifat kumulatif merkuri dalam rantai makanan (Salvo *et al.*, 2023). Oleh karena itu, diperlukan perhatian khusus pada sumber bahan baku garam untuk meminimalkan potensi kontaminasi merkuri sejak awal (Rahmadani & Alawiyah, 2022). Hal ini menunjukkan pentingnya melakukan uji kualitas air laut atau bahan baku lain secara berkala untuk mendeteksi keberadaan merkuri dan logam berat lainnya.

KESIMPULAN

Penerapan Desain rumah tunnel garam di kepulauan sangihe menunjukan peningkatan signifikan dalam efisiensi produksi dan menghasilkan kualitas garam yang baik. Teknologi ini berhasil memproduksi garam dengan kadar natrium klorida tinggi dan kadar kontaminan logam berat seperti merkuri yang berada di bawah ambang batas aman sesuai Standar Nasional Indonesia. Selain itu, kadar magnesium dan kalsium yang terkandung dalam garam hasil produksi juga berada dalam batas aman dan tidak

memengaruhi kualitas maupun kesehatan konsumen. Optimalisasi lebih lanjut pada desain rumah tunnel dan teknik pemurnian dapat meningkatkan kemurnian garam, terutama untuk memenuhi persyaratan industri farmasi yang ketat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, B. T. I., Hamzah, H., Ismail, M., Wahyudi, I., Nurdin, A., Fausiah, F., Budiyo, B., & Saputra, H. (2024). Refining NaCl: Elevating Salt's quality from coarse to industrial and Pharmacy grade through innovative hydroextraction techniques. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100752. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100752>
- Amin, Abd. A., Yanuar, A. T., Pramudia, Z., Susanti, Y. A. D., Zamzami, I. M. A., Salamah, L. N., Lestariadi, R. A., Hakim, L., Ardian, G., Hanifuddin, M., & Kurniawan, A. (2025). Analysis of Environmental Dynamic Factors During Salt Crystallization Process in Greenhouse Salt Tunnel (A Case Study in South Coastal and North Coastal East Java, Indonesia). *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 11(4), 567. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v11i4.7131>
- Apriani, M. (2018). Investigation On Calcium And Magnesium In Traditional Salt Plots: Promoting Utilization Waste By-Product. *International Journal of Geomate*, 15(49). <https://doi.org/10.21660/2018.49.06331>
- Arifin, A. H. F., Septiyanto, M. D., Budiana, E. P., Prasetyo, A., & Hadi, S. (2023). The Using of Thermal Energy Storage on Single Slope Solar Still Distiller. *E3S Web of Conferences*, 465, 1023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346501023>
- Baroroh, I., Suwasono, B., & Hardianto, D. (2018). The Fortication of Iodine in Salt Consumption Using Manual Gun Spray. *MATEC Web of Conferences*, 177, 1004. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20181770100>
- Chasanah, E., Pratitis, A., Ambarwati, D., Fithriani, D., Susilowati, R., & Marihati. (2019). Application of halophilic bacteria in traditional solar salt pond: a preliminary study. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 404(1), 12035. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/404/1/012035>
- Diananing, R., Destryana, R. A., Santosa, R., Puad, N. I. M., & Melviana, A. C. (2021). The Strategy of Salt Business Development: A Case Study in Sumenep, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 226, 36. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202122600036>
- Fauziyah, E., Hidayati, D. R., & Fatmawati, I. (2023). A Study on the Productivity of Salt Farming on Madura Island, Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 444, 2027. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344402027>
- Fachrurrazi, S., Maulinda, L., Rahmadani, A. F., & Sebayang, Mhd. R. A. (2023). Pengembangan Potensi Air Laut Menjadi Garam Industri Dan Garam Konsumsi Untuk Pemberdayaan Masyarakat Dengan Metode Rumah Prisma Di Desa Batuphat Barat Kota Lhokseumawe. *Jurnal Malikussaleh Mengabdikan*, 2(1), 35. <https://doi.org/10.29103/jmm.v2i1.10474>
- Fitri, A. (2024). Penambahan Filter Air Water Destillation Machine Untuk Perbaikan Kualitas Air Bahan Baku Pembuatan Akuades Kebutuhan Analisa Proksimat Bahan Pakan. *Jurnal Riset Dan Inovasi Peternakan (Journal of Research and Innovation of Animals)*, 8(2), 372. <https://doi.org/10.23960/jrip.2024.8.2.372-376>

- Haque, A. (2023). A complete overview of Packaging discoloration & delamination of Salt packs (Iodized) at market places under conditions relevant to product packaging, ageing & stabilization of filled polymers and product storage. *Research Square (Research Square)*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3817812/v1>
- Indriyani, R., Novika, Y., Lupiana, M., & Wahyuni, E. S. (2023). Kajian Camilan Tortilla Chips dari Formulasi Tepung Jagung dan Tempe untuk Pencegahan Stunting. *Amerta Nutrition*, 7(3), 358. <https://doi.org/10.20473/amnt.v7i3.2023.358-364>
- Kairupan, A. N., & Manoppo, C. N. (2021). Analysis of economic potential areas based on farming agricultural sector in the border area of Sangihe Island Regency. *E3S Web of Conferences*, 232, 1022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123201022>
- Karimela, E. J., Palawe, J. F. P., & Gansalangi, F. (2025). Pemberdayaan Masyarakat Pesisir Kampung Bulu Dalam Meningkatkan Pendapatan Keluarga Melalui Pembuatan Garam. *ARSY: Jurnal Aplikasi Riset Kepada Masyarakat*, 6(1), 141-147. <https://doi.org/10.55583/arsy.v6i1.1224>
- Kuncoro, R. D., Soemarno, S., & Kurniawan, A. (2022). Analysis of Factors Affecting the Competitiveness of Salt in Tuban District. *ECOSOFIM (Economic and Social of Fisheries and Marine)/ECOSOFIM (Economic and Social of Fisheries and Marine)*, 10(1), 64. <https://doi.org/10.21776/ub.ecsofim.2022.010.01.06>
- Lukum, A., Mohamad, E., Tangahu, A. D. K., & Ohi, S. (2021). Production and optimization of sea salt quality on the coast of Tomini Bay. *Journal of Physics Conference Series*, 1968(1), 12013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1968/1/012013>
- Mirandi, A., Nuraini, I., & Suliswanto, M. S. W. (2019). ANALISIS TINGKAT PENDAPATAN PETANI GARAM KAWASAN PESISIR DI KABUPATEN REMBANG. *Jurnal Ilmu Ekonomi JIE*, 3(3), 341. <https://doi.org/10.22219/jie.v3i3.9196>
- Muljani, S., Sumada, K., & Pujiastuti, C. (2022). Solar Evaporation System Using Spray Pipe Method. *MATEC Web of Conferences*, 372, 9003. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202237209003>
- Muslimah, M., Wahyuningsih, P., & Yusnawati, Y. (2024). Analisis Kualitas Garam Lokal Di Kabupaten Aceh Timur Dengan Berbagai Metode Pengolahan Garam. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 16(1), 47. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v16i1.40153>
- Nurjanah, N., Abdullah, A., Rahmadhani, A. C. D., & Seulalae, A. V. (2021). Antioxidant Activity and Combination Characteristics of Filtrates and Sargassum polycystum Seaweed Salt Residue. *Kuwait Journal of Science*. <https://doi.org/10.48129/kjs.11807>
- Prabawa, F. Y., & Bramawanto, R. (2021). The intensification of industrial salt production using the salt production house concept. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 925(1), 12031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/925/1/012031>
- Prihantini, C. I., Hanani, N., Asmara, R., & Syafrial, S. (2024). Technology gap ratio decomposition in smallholder solar saltworks in Indonesia using meta-frontier data envelopment analysis (MetaDEA). *Decision Science Letters*, 13(3), 595. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2024.5.003>
- Putri, S. N., Satria, Y. I., & Hendrianie, N. (2021). Pra Desain Pabrik Garam Industri dari Garam Rakyat. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.54321>

- Rahmadani, R., & Alawiyah, T. (2022). Deteksi Logam Berat Merkuri (Hg) pada Air dan Ikan Pasca Pertambangan Emas di Sungai Barito Kabupaten Barito Utara. *Jurnal Surya Medika*, 8(3), 76. <https://doi.org/10.33084/jsm.v8i3.4501>
- Ravivarman, G., Madhavan, V. M., Kalaiyarasan, A., Hemasilviavinothini, S., Nithyanandhan, T., Kesavan, S. P., & Girimurugan, R. (2023). Enhancing efficiency and cost-effectiveness of solar stills through natural fiber integration. *E3S Web of Conferences*, 455, 2003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202345502003>
- Rismana, E., Arbianto, A. D., & Kusumaningrum, S. (2024). Development of Efficient and Scalable Production Process of Analytical Grade Sodium Chloride at Laboratory Scale. *International Journal of Technology*, 15(3), 743. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v15i3.5606>
- Rochwulaningsih, Y., Sulistiyono, S. T., Utama, M. P., Masruroh, N. N., Rukayah, S., Efendy, M., & Gozan, M. (2019). Traditional knowledge system in palung salt-making in Bali Island. *Journal of Ethnic Foods*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s42779-019-0018-2>
- Rubak, B., Umar, A. M., Reymon, R., & Jannah, N. (2024). Analysis of blood calcium levels in calcium water consumers. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*, 13(2), 290. <https://doi.org/10.35816/jiskh.v13i2.1216>
- Salvo, E. D., Tardugno, R., Nava, V., Naccari, C., Virga, A., Salvo, A., Corbo, F., Clodoveo, M. L., & Cicero, N. (2023). Gourmet Table Salts: The Mineral Composition Showdown. *Toxics*, 11(8), 705. <https://doi.org/10.3390/toxics11080705>
- Silviana, E., Fauziah, F., & Adriani, A. (2020). The Comparison Of Potassium Iodate Concentration In Jangka Salt Of Matang Glumpang Dua Production From The Cooking And Natural Drying Process By Iodometri Method. *Lantanida Journal*, 7(2), 135. <https://doi.org/10.22373/lj.v7i2.5187>
- Tarmizi, E., Sunandar, K., & Wibowo, A. D. K. (2021). Synthesis Of Food Grade Salt From Brine Water Of Tirta Sanita Bogor. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 9(3), 165. <https://doi.org/10.21776/ub.jpa.2021.009.03.4>
- Widjaja, T., Altway, A., Gunardi, I., Pudjiastuti, L., Nury, D. F., Nabila, A., Prasetyawati, N., Saifulloh, M., & Noviyanto. (2019). Iodization of Local Salt Based on Purification Technique using Saturated Brine Washing Method. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 543(1), 12024. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/543/1/012024>
- Widjaja, T., Altway, A., Nurkhamidah, S., Rahmawati, Y., Meka, W., Alifatul, A., Hartanto, D., & Sari, R. (2023). *Effectiveness Study of Recrystallization Method in Pharmaceutical Salt Production from Processed Salt with Zero Waste Concept*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4632542>
- Yusni, Y., & Amiruddin, A. (2020). Efek suplementasi kalsium terhadap kebugaran dan profil kesehatan pada atlet Tarung Derajat. *Jurnal Keolahragaan*, 8(1). <https://doi.org/10.21831/jk.v8i1.30244>