

Rancang Bangun Efisiensi Energi Peralatan Mesin Pemanfaatan Sweeping menjadi Garam Nilai Jual menggunakan Skimmer

Rony Azmi Faisal^{1*}, Sabarudin Akhmad², Anis Arendra³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri – Universitas Trunojoyo Madura

^{1,2,3}, Jl. Raya Telang, Perumahan Telang Inda, Telang, Kec. Kamal, Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur 69162.

Email: Rony.azmie@gmail.com

*Corresponding Author

INFO ARTIKEL

doi: 10.350587/Matrik
v26i2.10648

Jejak Artikel : (diisi editor)

Upload artikel

31 Agustus 2025

Revisi oleh reviewer

9 Maret 2026

Publish

31 Maret 2026

Kata Kunci :

Kelayakan usaha,
Rekristalisasi, Garam,
Skimmer

ABSTRAK

Produksi garam merupakan kegiatan ekonomi penting bagi masyarakat pesisir, terutama di Pulau Madura yang dikenal sebagai salah satu pusat produksi garam di Indonesia, termasuk wilayah Kabupaten Sampang. Namun, metode produksi tradisional yang mengandalkan penguapan air laut oleh sinar matahari sering menghasilkan garam dengan tingkat kemurnian yang belum optimal. Kondisi cuaca yang berubah-ubah serta keberadaan mineral pengotor menyebabkan kualitas garam menurun sehingga nilai jualnya relatif rendah. Penelitian ini bertujuan mengembangkan serta mengevaluasi alat rekristalisasi garam yang dilengkapi dengan skimmer untuk meningkatkan kualitas garam rakyat. Metode penelitian menggunakan eksperimen faktorial dengan variasi temperatur pemanasan (110°C dan 120°C), konsentrasi larutan garam (15% dan 20%), serta waktu perebusan (1–2 jam). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi terbaik diperoleh pada suhu 110°C, konsentrasi 15%, dan waktu pemanasan 2 jam dengan kemurnian NaCl sebesar 98,32%. Sistem yang dirancang memiliki potensi kapasitas produksi sekitar 306.000 kg garam per tahun dan secara ekonomi dinilai layak untuk dikembangkan.

ABSTRACT

Salt production is an important economic activity for coastal communities, particularly on Madura Island, which is recognized as one of the main salt-producing regions in Indonesia, including Sampang Regency. However, traditional production methods that rely on solar evaporation often result in salt with suboptimal purity levels. Unstable weather conditions and the presence of mineral impurities frequently reduce product quality and consequently lower its market value for farmers. This study aims to develop and evaluate a salt recrystallization system equipped with a skimmer to improve the quality of crude salt. A factorial experimental method was applied with variations in heating temperature (110°C and 120°C), solution concentration (15% and 20%), and boiling time (1–2 hours). The results indicate that the optimal condition was achieved at 110°C, 15% concentration, and 2 hours of heating, producing NaCl purity of 98.32%. The designed system has a potential production capacity of approximately 306,000 kg of salt per year and is considered economically feasible.



1. Pendahuluan

Pulau Madura dikenal sebagai salah satu wilayah utama produksi garam rakyat di Indonesia, khususnya di Provinsi Jawa Timur. Kabupaten Sampang memiliki potensi produksi yang cukup besar karena didukung oleh luas lahan tambak garam yang signifikan dan kondisi geografis yang mendukung proses produksi berbasis evaporasi. Secara umum, garam diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu garam konsumsi dan garam industri berdasarkan tingkat kemurnian serta kandungan kimia di dalamnya. Pada tingkat nasional, kebutuhan garam Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 4,6–4,9 juta ton per tahun, sementara kapasitas produksi domestik masih relatif terbatas sehingga belum mampu sepenuhnya memenuhi permintaan dalam negeri. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya peningkatan kualitas dan efisiensi produksi garam melalui pengembangan teknologi pengolahan yang lebih efektif dan berkelanjutan [1]–[5], [25], [26].

Mutu garam umumnya ditentukan oleh beberapa parameter seperti kadar natrium klorida (NaCl), kadar air, serta kandungan mineral pengotor seperti kalsium (Ca) dan magnesium (Mg). Garam konsumsi memerlukan kandungan NaCl minimal sekitar 94%, sedangkan garam industri membutuhkan tingkat kemurnian yang lebih tinggi, yaitu sekitar 97% atau lebih. Pada praktiknya, sebagian garam yang dihasilkan melalui sistem produksi tradisional masih memiliki kandungan pengotor yang cukup tinggi sehingga tidak memenuhi standar kualitas yang dibutuhkan oleh sektor industri maupun konsumsi. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemurnian atau peningkatan kualitas agar garam berkadar NaCl rendah dapat dimanfaatkan secara lebih optimal dan memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi [6]–[10], [18], [20].

Produksi garam rakyat di Indonesia pada umumnya masih menggunakan metode konvensional dengan memanfaatkan proses evaporasi air laut menggunakan energi matahari melalui tahapan pemekatan dan kristalisasi.

Meskipun metode ini relatif sederhana, kinerjanya sangat bergantung pada kondisi lingkungan seperti intensitas radiasi matahari, curah hujan, temperatur udara, dan kecepatan angin yang mempengaruhi laju penguapan. Ketergantungan terhadap faktor iklim tersebut menyebabkan produksi garam sering mengalami fluktuasi baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Selain itu, pencampuran air laut dengan air sungai serta kondisi tanah tambak dapat menghasilkan garam dengan kualitas rendah yang dikenal sebagai garam M dan memiliki nilai jual lebih rendah di tingkat petani [11], [12], [21], [22], [30].

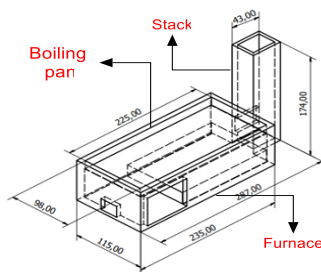
Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk meningkatkan mutu garam berkualitas rendah adalah proses rekristalisasi. Proses ini dilakukan dengan melarutkan garam dalam air, kemudian memisahkan pengotor melalui filtrasi dan pemanasan hingga terbentuk kembali kristal garam dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi. Penggunaan alat rekristalisasi yang dilengkapi dengan sistem pemisahan pengotor seperti skimmer dapat membantu mengangkat kotoran yang mengapung pada permukaan larutan selama proses pemanasan berlangsung. Teknologi ini berpotensi meningkatkan kualitas kristal garam serta efisiensi proses pemurnian dibandingkan metode pengolahan sederhana [13]–[17], [23].

Meskipun teknologi rekristalisasi telah digunakan dalam berbagai penelitian, kajian mengenai rancang bangun alat yang mempertimbangkan efisiensi energi secara kuantitatif masih terbatas, terutama pada skala produksi petani garam. Sebagian penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada peningkatan kualitas produk tanpa melakukan perbandingan kinerja dengan metode konvensional sebagai baseline. Selain itu, aspek dampak sosial, lingkungan, serta risiko operasional seperti fluktuasi produksi dan stabilitas kapasitas produksi juga jarang dibahas secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada rancang bangun alat rekristalisasi garam dengan sistem skimmer yang tidak hanya mengevaluasi peningkatan

kualitas produk, tetapi juga menganalisis konsumsi energi, perbandingan dengan metode konvensional, serta potensi penerapannya secara teknis dan ekonomi pada skala produksi petani garam [18]–[24], [27]–[29].

2. Metode Penelitian

Gambaran inovasi peralatan yang digunakan untuk rekristalisasi garam adalah sebagai berikut. Alat ini digunakan untuk memasak atau merebus larutan garam yang sebelumnya telah disaring menggunakan skimmer. Gambar oranye menunjukkan cerobong asap, gambar biru menunjukkan tempat pembakaran, dan gambar perak menunjukkan panci masak.



Gambar 2.1 Desain alat skimmer

Garam yang telah dicampur dan melewati proses penyaringan di dalam tangki, kemudian direbus menggunakan wajan besar dan menggunakan kompor sebagai media pembakaran pada suhu dan waktu yang telah ditentukan. Penelitian ini menggunakan desain eksperimen faktorial sederhana dengan dua variabel utama, yaitu temperatur pemanasan (110°C dan 120°C) serta konsentrasi larutan garam (15% dan 20%). Selain itu, waktu perebusan (1 jam dan 2 jam) digunakan sebagai variabel perlakuan tambahan untuk mengevaluasi pengaruh lama pemanasan terhadap proses rekristalisasi. Setiap kombinasi perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali, kemudian variabel lain yang berpotensi mempengaruhi proses dikontrol selama percobaan, antara lain volume larutan, jenis bahan baku garam, ukuran wadah pemanasan, serta sumber panas yang digunakan. Kadar NaCl hasil rekristalisasi kemudian dianalisis menggunakan metode pengukuran standar laboratorium untuk memastikan validitas hasil

a. Pengumpulan Data Aspek Keuangan

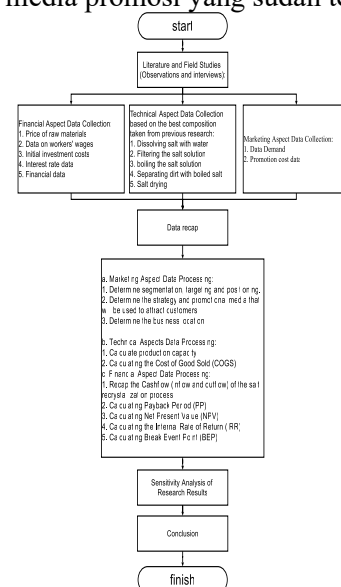
1. Harga bahan baku diperoleh pada saat pembelian bahan baku yang akan digunakan dalam proses rekristalisasi garam.
2. Data upah pekerja diperoleh dari data Badan Pusat Statistik untuk wilayah usaha.
3. Rekristalisasi garam dilakukan.
4. Data investasi awal diketahui dari biaya yang digunakan pada saat memulai usaha rekristalisasi garam.
5. Data suku bunga diperoleh dari data suku bunga tahunan yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik.
6. Data keuangan usaha diperoleh dari catatan uang masuk dan keluar.
7. Proses berjalannya usaha rekristalisasi garam.

b. Pengumpulan Data Aspek Teknis

1. Tahap pelarutan garam dengan air.
2. Tahap penyaringan.
3. Tahap perebusan larutan
4. Tahap Pemisahan Pengotor pada Garam yang Direbus
5. Tahap Pengeringan

c. Pengumpulan Data Aspek Pemasaran

1. Data permintaan diperoleh dari wawancara PT. garam yang akan menjadi konsumen garam rekristalisasi.
2. Data Biaya Promosi dari observasi langsung pada media promosi yang sudah tersedia



Gambar 2.2 Flowchart penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Aspek Pemasaran

Produk yang dihasilkan atau diolah dalam usaha yang diteliti adalah garam gesek atau garam M. Menentukan segmentasi, penargetan, dan positioning dalam usaha rekristalisasi garam adalah sebagai berikut. Segmentasi: segmentasi produk garam adalah PT. Garam, Targeting: target pasar untuk penjualan produk garam adalah PT. Garam. Positioning: posisi pasar produk garam akan lebih unggul dibandingkan pesaing karena garam yang ditawarkan lebih murah. Dengan menerapkan STP, pengolahan garam dapat memaksimalkan keuntungan yang diperoleh petani dan PT. Garam sehingga kebutuhan garam akan terealisasi secara optimal dan memberikan wawasan baru bagi para pemangku kepentingan terkait inovasi pengolahan, penetapan harga, persaingan dengan pesaing dan sebagainya.

Lokasi yang digunakan sebagai tempat usaha rekristalisasi garam adalah dusun pesisir, Desa Tambakan, Kecamatan Camplong. Lokasi ini dipilih karena dekat dengan lokasi bahan baku dan penjualan, yaitu PT. Garam dengan jarak sekitar 5,6 km.

3.2 Aspek Teknis

Tabel 3.1 Hasil Kombinasi Terbaik

Results Table								
Tem perature	110	110	110	110	120	120	120	120
%Larutan	15%	15%	20%	20%	15%	15%	20%	20%
WP	1 jam	2 jam	1 jam	2 jam	1 jam	2 jam	1 jam	2 jam
Result	97.4	98.39	95.68	96.38	98.23	98.19	95.93	96.94
	97.4	98.33	95.62	96.26	98.2	98.69	95.9	96.89
	96.9	98.23	95.27	96.24	98.1	97.39	95.89	96.48
Avg	97.29	98.32	95.5	96.2	98.1	98.0	95.9	96.7

Pada temperatur 110°C dengan konsentrasi larutan 15%, rata-rata kadar NaCl yang diperoleh berkisar antara 97,29% hingga 98,32%. Nilai tertinggi pada kelompok ini diperoleh pada waktu pemanasan 2 jam, yang menunjukkan bahwa peningkatan durasi

pemanasan dapat meningkatkan proses pemisahan pengotor selama rekristalisasi. Pada konsentrasi larutan 20% dengan temperatur 110°C, nilai rata-rata kadar NaCl yang dihasilkan relatif lebih rendah, yaitu sekitar 95,5%–96,2%. Hal ini diduga terjadi karena larutan dengan konsentrasi lebih tinggi memiliki tingkat kejenuhan yang lebih cepat sehingga kristalisasi berlangsung lebih cepat tetapi tidak optimal dalam memisahkan pengotor.

Sementara itu, pada temperatur 120°C, nilai rata-rata kadar NaCl yang diperoleh berada pada kisaran 95,9%–98,1%. Walaupun temperatur yang lebih tinggi dapat mempercepat proses penguapan, peningkatan temperatur yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan kristalisasi berlangsung terlalu cepat sehingga sebagian pengotor masih ikut terperangkap dalam kristal garam. Berdasarkan hasil tersebut, kombinasi temperatur 110°C dan konsentrasi larutan 15% dengan waktu pemanasan 2 jam menghasilkan nilai rata-rata kadar NaCl tertinggi sebesar 98,32%, sehingga kondisi ini dianggap sebagai kondisi operasi paling optimal dalam penelitian ini.

Tabel 3.2 Production Capacity

Production capacity		
Jumlah Mesin	1	Unit
Waktu Satu Kali Produksi	2	Jam
Jam Kerja per Hari	8	jam
Jumlah Produksi per Hari	4	waktu
Kapasitas Produksi per	300	Kg
Hasil Produksi per Siklus	255	Kg
Hasil Produksi per Hari	1020	Kg
Hasil Produksi per Bulan	25500	Kg
Hasil Produksi per Tahun	30600	Kg

Efektivitas mesin masih berada pada kategori standar, sehingga stabilitas kinerja belum optimal untuk mendukung tuntutan ketepatan waktu dan konsistensi kualitas pada proses pemotongan plat baja sebagai tahapan awal pembentukan komponen konstruksi manufaktur. Menunjukkan kapasitas produksi dalam bisnis rekristalisasi garam. Jumlah mesin yang digunakan adalah 1 unit. Jam kerja adalah 8 jam sehari dan dalam sehari dapat melakukan proses rekristalisasi garam sebanyak 4 kali. Kapasitas untuk satu kali produksi adalah 300 kg garam gosok terlarut. Dengan kapasitas

produksi ini, permintaan yang relevan dapat dioptimalkan, dan jika terjadi peningkatan permintaan, fasilitas tambahan dapat ditambahkan.

Tabel. 3.3 cost of production
Cost of Good Sold (COGS)

Cost of Good Sold (COGS)		
1. PRODUCTION COST		
2. BIAYA MESIN	Rp216.000.000	
	Rp3.312.000	
3. POWER COSTS	Rp68.940.000	
4 MATERIAL COSTS	Rp45.474.000	
TOTAL PRODUCTION	Rp1.091	Rp333.726.000
2. OPERATIONAL EXPENSES		
1. Rent a place	Rp0	
2. Electricity and	Rp1.320.000	
3. Transportation	Rp5.400.000	
4. Shrinkage	Rp5.206.950	
TOTAL EXPENSES		Rp11.926.950
3. COST OF PRODUCTION		Rp345.652.950
4. FACTORY PRICES		
INDIRECT LABOR COSTS		Rp48.000.000
TOTAL FACTORY COST		Rp48.000.000
Extension Cost of Good Sold		
5. COST OF SALES	Rp1.286	Rp393.652.950
6. EXPECTED PROFIT (YEAR)	15%	Rp59.047.943
7. TOTAL PRICE SELL		Rp452.700.893
8. QUANTITY OF	306.000	
9. HARGA JUAL PER SATUAN KILOGRAM		Rp1.479

Berdasarkan perhitungan biaya produksi, diperoleh harga pokok penjualan sebesar Rp345.652.950, sehingga harga pokok penjualan mencapai Rp393.652.950. Keuntungan yang diharapkan adalah 15% dalam satu tahun jika dikonversi menjadi Rp59.047.943, sehingga harga jual garam per kilo gram adalah Rp1.479.

3.3 Aspek finansial

Menunjukkan aliran biaya dan pendapatan pada bisnis rekristalisasi. Periode yang digunakan dalam perhitungan arus kas adalah 10 periode. Pengeluaran pada periode pertama sebesar Rp. 378.540.629 dengan pendapatan sebesar Rp. 452.700.893.

Nilai perhitungan NPV di excel. Nilai NPV diperoleh dari penjumlahan nilai present value. Bunga yang digunakan adalah 6,5%. Nilai NPV yang diperoleh positif karena nilai NPV lebih besar dari 0.

Nilai IRR yang dihasilkan adalah 44%. Kesimpulannya, bisnis rekristalisasi garam layak dilanjutkan karena persentase ini jauh melebihi 6,5%, dengan tingkat pengembalian

internal yang tinggi dan banyak keuntungan. Perhitungan payback period untuk bisnis rekristalisasi garam. Hasil perhitungan menggunakan excel menghasilkan nilai PP sebesar 2 tahun. Hasil tersebut diperoleh dari periode dimana NPV kumulatif mendekati nilai investasi ditambah nilai investasi dikurangi nilai NPV kumulatif pada periode tersebut dibagi dengan NPV kumulatif periode sesudahnya dan dikurangi dengan nilai NPV kumulatif pada periode tersebut.

Hasil perhitungan BEP menggunakan Excel. Nilai BEP yang diperoleh adalah 30.676 per unit dan Rp45.382.188 dalam rupiah. Proses produksi rekristalisasi garam harus menghasilkan minimal 30.676 kg garam setiap tahun.

Tabel 3.4 calculation cashflow,NPV,IRR,PP

CALCULATION NPV						
Periode	Expenditure	Income	Net Cash Flow	Inte rest	Present Value	Cum NPV
0	-Rp 378.540.629	Rp-	Rp136.06	6.5%	-Rp 378.540.629	-Rp 378.540.629
1	-Rp 0	Rp 452.700.893	Rp452.700.893		Rp424.601.777	-Rp46.061.148
2	-Rp 0	Rp452.700.893	Rp452.700.893		Rp398.680.538	Rp444.741.686
3	-Rp 0	Rp452.700.893	Rp452.700.893		Rp374.329.613	Rp819.071.299
4	-Rp 0	Rp452.700.893	Rp452.700.893		Rp351.483.205	Rp1.170.554.504
5	-Rp 0	Rp452.700.893	Rp452.700.893		Rp330.073.620	Rp1.500.628.124
6	-Rp 0	Rp452.700.893	Rp452.700.893		Rp309.936.733	Rp1.810.564.857
7	-Rp 0	Rp452.700.893	Rp452.700.893		Rp291.013.836	Rp2.101.578.693
8	-Rp 0	Rp452.700.893	Rp452.700.893		Rp273.248.206	Rp2.374.826.899
9	-Rp 0	Rp452.700.893	Rp452.700.893		Rp256.586.109	Rp. 2.631.413.008
10	-Rp 0	Rp452.700.893	Rp452.700.893		Rp240.976.688	Rp2.872.389.696
NPV				Positif	Rp397.222.030	
					Rp97.222.030	
IRR				44%		
Payback Periode (tahun)				2.0		

Perhitungan analisis kelayakan rekristalisasi garam ketika terjadi kenaikan harga bahan baku. Kenaikan harga bahan baku tersebut tiga kali lipat lebih besar dari harga normal. Hal ini berdasarkan hasil wawancara dengan PT. Garam yang menjelaskan bahwa harga garam ketika kondisi tidak normal dapat mencapai 1.800.000 per ton, sementara harga normalnya adalah 600.000 per ton. Perhitungan yang diperoleh pada skenario pertama adalah NPV sebesar Rp. 325.879.420. IRR sebesar 35%, PP selama 2,6 tahun, dan BEP sebesar 34.120

Tabel 3.5 calculation BEP

BEP	
BEP =	FC/(P-VC)
VC =	Production costs / number of units
FC =	Rp11.926.950
P =	Rp1.479
VC =	Rp1091
BEP per unit =	Rp11.926.950
	Rp388.806.84
	30.676
BEP in rupiah =	Rp 45.382.188
	0.262811261
	45.382.188

Tabel 3.6 Perhitungan saat harga bahan baku naik

Calculation Method	value
NPV	<u>RP. 373.136.337</u>
IRR	<u>43%</u>
Payback Period	<u>2.1</u>
Break Event Point	<u>30.676</u>
The interest rate used	<u>6.5%</u>
Period	<u>10 year</u>

Perhitungan analisis kelayakan rekristalisasi garam ketika terjadi kenaikan harga bahan baku. Kenaikan harga bahan baku tersebut tiga kali lipat lebih besar dari harga normal. Hal ini berdasarkan hasil wawancara dengan PT. Garam yang menjelaskan bahwa harga garam ketika kondisi tidak normal dapat mencapai 1.800.000 per ton, sedangkan harga normalnya adalah 600.000 per ton. Perhitungan yang diperoleh pada skenario pertama adalah NPV sebesar Rp. 325.870.420. IRR sebesar 35%, PP selama 2.6 bulan, dan BEP sebesar 34120.

Tabel 3.7 Hasil Perhitungan Kenaikan Suku Bunga

Calculation Method	value
NPV	<u>Rp 325.870.420</u>
IRR	<u>35%</u>
Payback Period	<u>2.6</u>
Break Event Point	<u>34.120</u>
The interest rate used	<u>6.5%</u>
Periode	<u>10 year</u>

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai perancangan alat rekristalisasi garam yang dilengkapi dengan sistem skimmer, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses rekristalisasi terbukti mampu meningkatkan mutu garam dengan cara menurunkan kandungan pengotor serta meningkatkan kemurnian natrium klorida (NaCl). Kondisi operasi yang memberikan hasil paling optimal diperoleh pada temperatur pemanasan 110°C dengan konsentrasi larutan

- garam sebesar 15% dan waktu perebusan selama 2 jam, yang menghasilkan kadar NaCl mencapai 98,32%.
2. Peralatan rekristalisasi yang dirancang memiliki kemampuan produksi yang cukup tinggi, yaitu sekitar 306.000 kg garam per tahun. Dengan kapasitas tersebut, produk garam hasil rekristalisasi dapat dipasarkan dengan harga jual sekitar Rp1.479 per kilogram.
 3. Hasil evaluasi aspek finansial menunjukkan bahwa usaha pengolahan garam melalui proses rekristalisasi memiliki prospek yang menguntungkan dan layak untuk dikembangkan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai Net Present Value (NPV) sebesar Rp397.222.030, Internal Rate of Return (IRR) sebesar 44%, periode pengembalian modal (Payback Period) sekitar dua tahun, serta titik impas produksi (Break Even Point/BEP) sebesar 30.676 kg.
 4. Analisis sensitivitas memperlihatkan bahwa kelayakan usaha tetap terjaga meskipun terjadi perubahan kondisi ekonomi, seperti kenaikan harga bahan baku maupun peningkatan tingkat suku bunga.
 5. Penerapan teknologi rekristalisasi yang dilengkapi dengan sistem skimper berpotensi meningkatkan nilai tambah produk garam rakyat sekaligus membuka peluang pengembangan usaha yang lebih berkelanjutan bagi petani dan pelaku industri garam di wilayah pesisir.

5. Daftar Pustaka

- [1] J. Suryadi, S. H. Witcaksono, P. W. Salsabila, E. Andrijanto, and R. D. Jayanti, "Enhancement of salt quality with recrystallization method from crude salt raw material on a laboratory scale," *Journal of Green Science and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 210–218, 2025.
- [2] M. Rahman, Y. Chen, and X. Li, "Effectiveness study of recrystallisation method in pharmaceutical salt production from processed salt with zero waste concept," *Heliyon*, vol. 10, no. 10, 2024.
- [3] Y. Li et al., "Eco-efficient sea salt purification via coupled brine washing and elutriation technology," *Environmental Challenges*, vol. 16, 2025.
- [4] H. Zhang et al., "Directional salt crystallization system for high-efficiency solar-driven evaporation," *Separation and Purification Technology*, vol. 354, 2025.
- [5] X. Chen et al., "A novel method for salt separation-crystallization and water recovery via photothermal evaporation," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 58, 2025.
- [6] L. Wang et al., "Salt crystallization on graphene oxide photothermal hydrogel for hypersaline water distillation," *Carbon*, vol. 233, 2025.
- [7] Q. Zhao et al., "Preparation of high-purity magnesia spinel raw materials from salt lake brine," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 12, no. 6, 2024.
- [8] J. Liu et al., "Echelon extraction of valuable components from salt lake brine substrate," *Desalination*, vol. 594, 2025.
- [9] S. Kumar et al., "Integrated diffusion dialysis-electrodialysis for acid and salt separation," *Chemical Engineering Journal*, vol. 498, 2024.
- [10] Y. Wang et al., "Low-energy double-salt crystallization process for potassium removal," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 12, no. 5, 2024.
- [11] H. Prasetyo and D. Wibowo, "Salt quality improvement using recrystallization technology," *Indonesian Journal of Chemistry Engineering*, vol. 24, no. 2, pp. 120–128, 2024.
- [12] A. Kurniawan and S. Hidayat, "Optimization of solar salt production and purification technology," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 21, 2024.
- [13] B. Widodo, R. Hartono, and L. Sari, "Recrystallization process to improve NaCl purity of traditional salt," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 13, 2025.

- [14] N. Setiawan et al., “Energy-efficient salt crystallization technology for seawater brine treatment,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 245, 2025.
- [15] M. Hassan et al., “Solar-driven evaporation system for salt harvesting and freshwater production,” *Desalination and Water Treatment*, vol. 320, 2025.
- [16] D. Arifin and T. Yuliana, “Improving traditional salt quality through recrystallization technology,” *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 34, no. 2, 2024.
- [17] R. Nugroho et al., “Economic feasibility of salt processing technology for small-scale industry,” *Sustainability*, vol. 17, 2025.
- [18] Y. Huang et al., “Crystallization kinetics of sodium chloride from saline solutions,” *Crystal Growth & Design*, vol. 24, no. 3, 2024.
- [19] L. Zhou et al., “Advanced crystallization techniques for salt purification in industrial processes,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 208, 2025.
- [20] P. Gupta et al., “Salt crystallization behavior in high salinity brine systems,” *Journal of Crystal Growth*, vol. 636, 2024.
- [21] H. Park et al., “Solar salt production and purification technologies: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 200, 2025.
- [22] T. Nguyen et al., “Salt purification and desalination technologies for sustainable resource recovery,” *Water Research*, vol. 256, 2025.
- [23] A. Ahmad et al., “Improving salt purity through chemical precipitation and recrystallization,” *Separation Science and Technology*, vol. 59, no. 6, 2024.
- [24] S. Kim et al., “Energy analysis of salt crystallization systems for industrial applications,” *Energy Conversion and Management*, vol. 306, 2025.
- [25] M. Fadli and R. Prabowo, “Salt industry development and quality improvement in Indonesia,” *Jurnal Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, vol. 19, no. 1, 2024.
- [26] A. Rahmatullah et al., “Salt production potential and supply chain challenges in Indonesia,” *Marine Policy*, vol. 165, 2025.
- [27] K. Lee et al., “Photothermal evaporation technology for salt harvesting from brine,” *Nano Energy*, vol. 120, 2025.
- [28] Y. Tan et al., “Interfacial solar evaporation for efficient salt crystallization,” *Advanced Functional Materials*, vol. 35, 2025.
- [29] S. Ahmed et al., “Thermodynamic modeling of NaCl crystallization from seawater brine,” *Journal of Chemical Thermodynamics*, vol. 189, 2024.
- [30] F. Rahman et al., “Technological innovation in traditional salt production systems,” *Ocean & Coastal Management*, vol. 256, 2025.