

Aplikasi Bakteri Halofilik Berwarna Merah Terimmobilisasi Dalam Meningkatkan Kualitas Garam Dalam Proses Produksi Garam Berbasis Air Laut

Rizal Awaludin Malik*; Nilawati; Novarina Irnaning Handayani; Rame; Silvy Djayanti; Ningsih Ika Pratiwi; Nanik Indah Setianingsih

Balai Besar Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri,
Jln. Ki mangunsarkoro no 6, Kota Semarang 50136, Indonesia
*E-mail: rizalmalik72@gmail.com

Abstrak - Garam yang dihasilkan oleh peladangan garam rakyat di Indonesia masih memiliki kemurnian NaCl yang rendah (<90%). Dampak dari penggunaan garam dengan kemurnian yang rendah adalah kerugian di industri pengguna garam sebagai bahan baku. Rendahnya kemurnian NaCl yang dihasilkan disebabkan oleh sistem peladangan yang tidak benar dan juga tidak adanya maintain ekosistem peladangan garam. Pentingnya ekosistem adalah agar terciptanya interaksi biotik-biotik maupun biotik-abiotik pada ladang garam sehingga memungkinkan bagi bakteri-bakteri halofilik berwarna merah untuk tumbuh pada ladang garam. Bakteri halofilik ini merupakan salah satu komponen biotik yang sangat berpengaruh dalam proses peladangan garam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bakteri halofilik yang telah terimmobilisasi dalam meningkatkan kemurnian NaCl pada peladangan garam. Aplikasi ini dilakukan di ladang garam dengan 3 perlakuan yaitu 1 perlakuan peladangan menggunakan bakteri halofilik terimmobilisasi, 1 kontrol positif berupa peladangan garam tanpa pemberian bakteri terimmobilisasi namun dilakukan peladangan secara benar, 1 kontrol negatif berupa peladangan garam tanpa pemberian bakteri halofilik dan dilakukan peladangan secara tradisional. Setiap perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali dan setiap perlakuan/pengulangan dilakukan pada lahan dengan luasan 1,5m x 4m dan tinggi muka air 9cm, dan parameter yang di ukur adalah kemurnian NaCl, Na, Cl, Mg, Kadar air dan bentuk kristal garam yang dihasilkan. Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan kemurnian NaCl perlakuan dengan bakteri halofilik memiliki kemurnian rata-rata 94,15% kadar Na 37,04% Cl 57,11% Mg 1,07% kadar air 7,05% dengan bentuk kubus besar, kontrol positif menghasilkan NaCl 90,36% dengan Na 35,55% Cl 54,81 Mg 2,247% kadar air 11,09 dan bentuk kristal kubus kecil dan kontrol negatif menghasilkan NaCl 88,33% Na 34,75% Cl 53,58% Mg 2,09% kadar air 11,89% kristal berbentuk cone/piramida. Kesimpulan dari penelitian ini adalah penggunaan bakteri halofilik terimmobilisasi dan teknik peladangan yang benar pada proses peladangan garam menghasilkan garam NaCl dengan kemurnian lebih tinggi dibanding perlakuan lainnya.

Kata Kunci: Halofilik, Terimmobilisasi, Garam, NaCl

1. PENDAHULUAN

Proses peladangan garam yang dilakukan oleh masyarakat tradisional di Indonesia masih menggunakan sistem peladangan garam dengan melakukan “penuaan” air laut. Penuaan air laut dilakukan dengan menguapkan air laut secara seri bertahap pada kolam-kolam evaporasi. Umumnya penuaan air laut terdiri atas tiga tahapan yaitu 2,5-10°Be (baume), 10-15°Be dan 15-25°Be. Selama proses penuaan ini terjadi pengendapan/persipitasi senyawa-senyawa yang merupakan impuritas pada produk garam yaitu CaCO₃, CaSO₄, MgCl dan MgSO₄ yang mengendap berdasarkan gradasi salinitas. Proses peladangan garam tradisional yang dilakukan oleh petani garam umumnya dilakukan dengan cara mengkristalkan air tua pada saturasi 15-20°Be, teknik peladangan seperti ini menyebabkan terjadinya kopresipitasi yaitu pengendapan atau pengkristalan bersama antara NaCl dan impuritas-impuritas lainnya. Dampak buruk dari fenomena kopresipitasi ini adalah terperangkapnya impuritas tersebut dalam kristal garam sehingga ketika dilakukan proses pencucian garam kemurnian garam yang dihasilkan tidak akan signifikan dan akan berakibat pada tingginya loss atau kehilangan garam selama pencucian (Davis, 1995).

Salah satu penyebab rendahnya kualitas garam NaCl yang dihasilkan oleh petani garam di Indonesia adalah sistem peladangan yang tidak sesuai dimana umumnya kristalisasi dilakukan ketika salinitas air tua yang dipakai adalah 15-17°Be. Selain itu pada proses

peladangan garam di Indonesia jarang ditemukan adanya komunitas bakteri halofilik pada kolam kristalisasi.

Bakteri halofilik adalah golongan jenis archaeobacteria yang membutuhkan kondisi salin untuk hidup (Pooja & Gopal, 2011). Bakteri halofilik terbagi atas 3 golongan yaitu: halofilik rendah yang merupakan golongan bakteri yang hidup pada salinitas 2-5%, halofilik sedang golongan yang hidup pada salinitas 5-20%, dan halofilik ekstrim yang hidup pada salinitas 20-30% (Das Sarma & Arora, 2001). Ketersediaan bakteri halofilik pada ladang garam rakyat di Indonesia sangat minim hal ini terjadi dikarenakan ketika sudah melewati masa panen garam maka ladang garam beralih fungsi menjadi tambak ikan. Alih fungsi lahan ini berdampak pada penurunan salinitas sehingga komunitas bakteri halofilik ekstrim berwarna merah yang umumnya tumbuh pada salinitas tinggi (20-30‰) akan mati karena lisis akibat penurunan salinitas lingkungan.

Proses peladangan garam dilakukan dengan memanfaatkan cahaya matahari dan angin sebagai unsur utama dalam terjadinya fenomena evaporasi air laut. Selain memanfaatkan fenomena fisik berupa evaporasi dan presipitasi senyawa-senyawa penyusun garam, proses biologis juga memiliki peran penting pada peladangan garam (Davis, 2000). Peran bakteri halofilik ekstrim berwarna merah pada proses peladangan garam berkontribusi sangat signifikan dalam menghasilkan garam NaCl dengan kemurnian tinggi >94% (Oren, 2010). Bakteri halofilik ekstrim berwarna merah ini berfungsi sebagai penyerap sinar matahari sehingga suhu air tua akan meningkat dan kemudian akan meningkatkan laju evaporasi, tingginya laju evaporasi ini akan berdampak pada peningkatan konsentrasi ion-ion penyusun garam sehingga proses pembentukan kristal garam menjadi lebih cepat (Javor, 2002). Selain mempercepat proses pembentukan kristal akibat meningkatnya laju evaporasi, bakteri halofilik ekstrim berwarna merah ini dapat bertindak sebagai inisiator pembentukan inti kristal garam (Lopez-Cortes & Ochoa 1998). Peran bakteri halofilik ekstrim berwarna merah dalam meningkatkan kualitas garam NaCl juga dijelaskan oleh Davis (1995) yang menyatakan bahwa tingginya populasi bakteri halofilik ekstrim berwarna merah pada kolam kristalisasi garam tidak hanya berperan untuk meningkatkan laju evaporasi namun juga berperan dalam mengoksidasi partikulat organik terlarut yang terdapat pada air tua.

Penggunaan bakteri halofilik ekstrim pada proses kristalisasi garam pernah dilakukan oleh Nilawati (2017), pada penelitian tersebut menyatakan bahwa penggunaan kultur cair bakteri *Haloferax* pada proses kristalisasi garam pada skala lab menghasilkan garam dengan kemurnian NaCl 94,64%. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bakteri halofilik ekstrim berwarna merah dengan spesies *Haloferax lucentense* dan *Haloferax chudinovii* yang telah diimmobilisasi dengan menggunakan matriks zeolit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan bakteri halofilik yang telah diimmobilisasi dalam kaitannya dengan kualitas garam NaCl yang dihasilkan pada proses peladangan garam rakyat.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan pada skala lapangan dimana percobaan dilakukan langsung di lapangan untuk mengetahui performa bakteri halofilik terimmobilisasi pada kondisi sebenarnya. Pada penelitian ini dilakukan 3 buah perlakuan yaitu pada (Tabel 1).

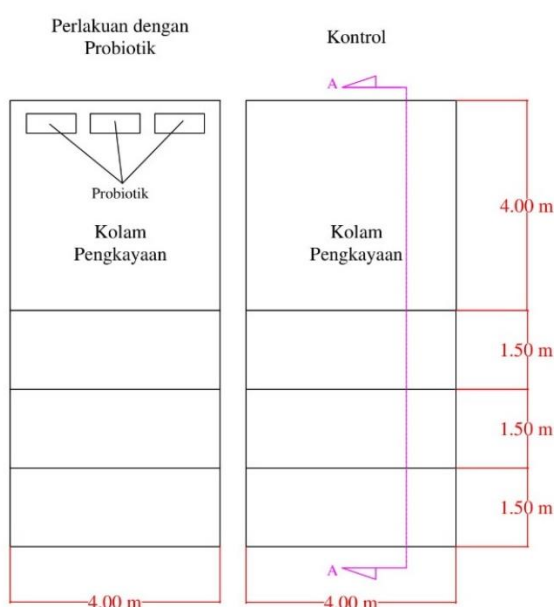
Penelitian dilakukan dengan 3 kali pengulangan (triplo) untuk setiap perlakuan dan pada setiap perlakuan dibuat kolam pengkayaan sebagai tempat penuaan air laut dan tempat inokulasi bakteri halofilik terimmobilisasi.

Tabel 1. Perlakuan yang dilakukan pada penelitian

Keterangan	Perlakuan		
	Perlakuan 1	Perlakuan 2/kontrol positif	Kontrol negatif
Penggunaan bakteri halofilik	Kristalisasi garam dengan menggunakan bakteri halofilik terimmobilisasi	Kristalisasi garam tanpa menggunakan bakteri halofilik terimmobilisasi	Kristalisasi garam tanpa menggunakan bakteri halofilik terimmobilisasi
Sistem peladangan	Peladangan dengan memulai kristalisasi pada 24°Be	Peladangan dengan memulai kristalisasi pada 24°Be	Peladangan dengan menggunakan sistem tradisional (memulai kristalisasi pada 17°Be)

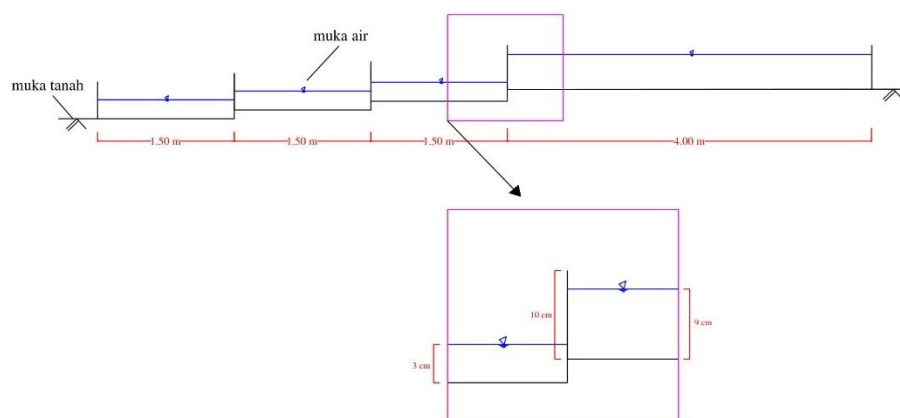
Air laut 17°Be akan di diamkan pada kolam pengkayaan hingga memiliki salinitas 24-25°Be, selain menuakan air laut menjadi air tua fungsi dari kolam pengkayaan ini adalah sebagai tempat pertumbuhan dan perbanyakkan bakteri halofilik sehingga ketika memasuki kolam kristalisasi air tua telah ditumbuhi oleh bakteri halofilik.

Visualisasi rancangan aplikasi lapangan adalah sebagai berikut:



DENAH TAMPAK ATAS

TANPA SKALA



DENAH TAMPAK SAMPING/ POTONGAN A-A
TANPA SKALA

Gambar 1. Desain percobaan kristalisasi

Alur percobaan ini dimulai dari pemompaan air laut dari kolam penguapan ke kolam pengkayaan yang telah diberi bakteri halofilik terimmobilisasi. Jumlah penggunaan bakteri halofilik esktrim terimmobilisasi adalah sebanyak 2,5% dari total volume air tua yang akan di kristalkan, jumlah ini berdasarkan penelitian Marihati (2014). Setelah bakteri terimmobilisasi dan air laut 17^oBe dipompakan kedalam kolam pengkayaan kemudian diberikan penambahan nutrisi yeast ekstrak dan trypton masing-masing sebanyak 100gr dan 200 gr. Kemudian dilakukan monitoring salinitas selama 5 hari hingga salinitas 24-25^oBe. Setelah mencapai salinitas 24-25^oBe kemudian air tua di pompakan ke kolam kristalisasi dan dilakukan pemanenan garam hasil kristalisasi ketika air tua telah jenuh (30^oBe).

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli-Agustus tahun 2018. Lokasi penelitian adalah ladang garam rakyat di Jl. Pati-Rembang KM 12 Kabupaten Pati.

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan meliputi Yeast ekstrak (Oxoid) dan Trypton water (Oxoid) sebagai nutrisi bakteri halofilik yang digunakan, bakteri halofilik ekstrim berwarna merah terimmobilisasi sebanyak 3 x 3kg untuk perlakuan 1, media isolator sebagai kolam pengkayaan dan kolam kristalisasi. Alat yang digunakan adalah baume meter, mikroskop digital Hirox KH-8000, plastik clip untuk sampel container.

2.3. Pengambilan Sampel

Sampling dilakukan pada hari ke 5 proses kristalisasi dimana salinitas air tua telah memasuki 30^oBe. Sampel yang telah di panen dari tiap-tiap kolam kristalisasi kemudian di sampling sebanyak 3 Kg untuk setiap pengulangan. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengambil 3 titik dari setiap pengulangan dan kemudian dilakukan pencampuran untuk memastikan homogenitas sampel. Sampel yang telah di koleksi kemudian diberi label dan dilakukan pengujian di laboratorium untuk melihat morfologi kristal dan kandungan Na, Cl, Mg, kadar air dan NaCl total.

2.3.1. Pengujian Parameter Penelitian

2.3.1.1. Analisa Kualitas garam

Pengujian dilakukan di laboratorium Aneka Komoditi Balai Besar Teknologi Penegahan Pencemaran Industri. Pengujian parameter Na, Cl, Kadar air dan NaCl total dilakukan dengan metode SNI 3556:2010 lampiran B butir B2-B5 tentang pengujian Garam konsumsi beryodium, sedangkan untuk pengujian parameter Mg dilakukan dengan metode titrimetri.

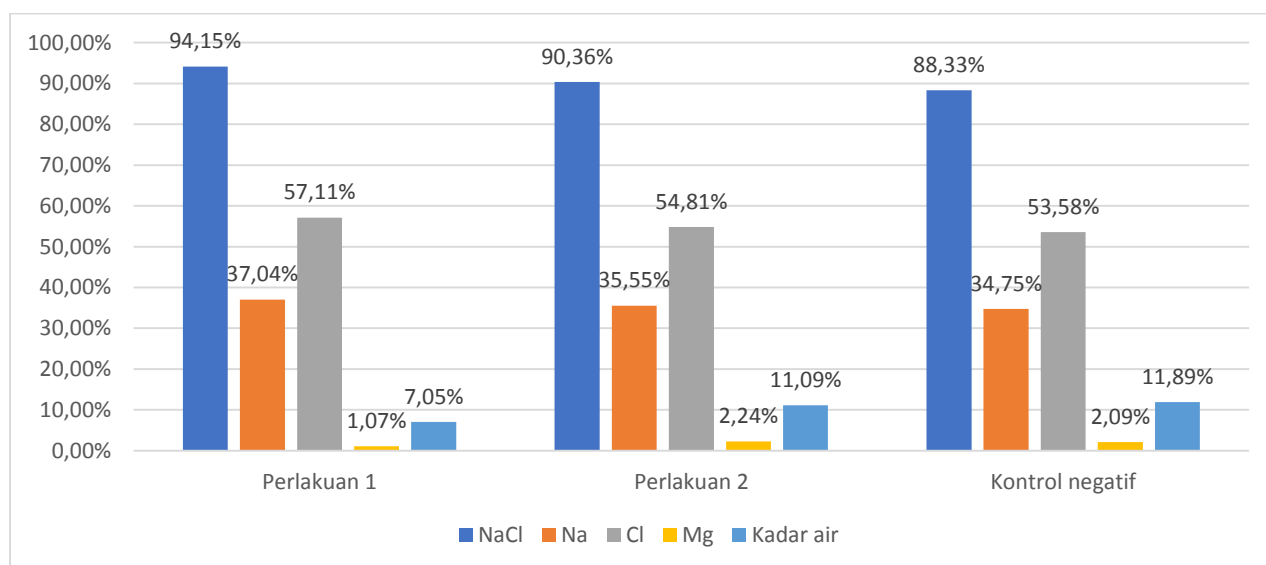
2.3.1.2. Analisa Morfologi Kristal garam

Analisa morfologi kristal garam dilakukan dengan mengamati bentuk kristal yang dihasilkan dari tiap-tiap perlakuan, analisa dilakukan di laboratorium Mikrobiologi dengan menggunakan mikroskop digital Hirox KH-8000.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Penambahan Bakteri halofilik ekstrim berwarna merah terhadap kualitas kristal garam yang dihasilkan

Kualitas garam ditentukan dari persentase NaCl dan impuritas yang terdapat pada garam tersebut. Hasil kristalisasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan persentase kemurnian garam NaCl dari tiap-tiap perlakuan. Berdasarkan hasil analisa parameter NaCl, Na, Cl, Mg dan kadar air dari kristal garam yang dihasilkan (gambar 2) didapatkan hasil bahwa persentase kemurnian NaCl tertinggi didapatkan pada perlakuan 1 dengan persentase NaCl sebesar 94,15% sedangkan perlakuan 2 (kontrol positif) memiliki kemurnian NaCl sebesar 90,36% dan kontrol negatif memiliki persentase kemurnian NaCl paling rendah yaitu 88,33%. Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Nilawati (2017) dimana kristalisasi dengan menggunakan kultur cair bakteri halofilik ekstrim berwarna merah berjenis *Haloferax* spp pada skala laboratorium dihasilkan garam dengan kemurnian 94,64% dimana hasil ini hampir sama dengan penerapan pada skala lapangan dan penggunaan bakteri halofilik ekstrim yang di immobilisasi yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 2. Hasil analisa parameter garam

Dalam mengimbangi tekanan osmotik ekstraseluler yang jauh lebih tinggi, secara biokimia bakteri halofilik ekstrim berwarna merah memiliki kemampuan mengakumulasi polisakarida, peptida, protein dan senyawa-senyawa organik lain seperti gliserol, glisin, betain untuk menjaga kesetimbangan osmotik selnya (Roberts, 2005). Selain itu terdapat mekanisme lain dalam mempertahankan kesetimbangan osmotiknya yaitu memanfaatkan pertukaran ion dengan mengakumulasi kation K^+ pada intraselulernya dan menukarnya

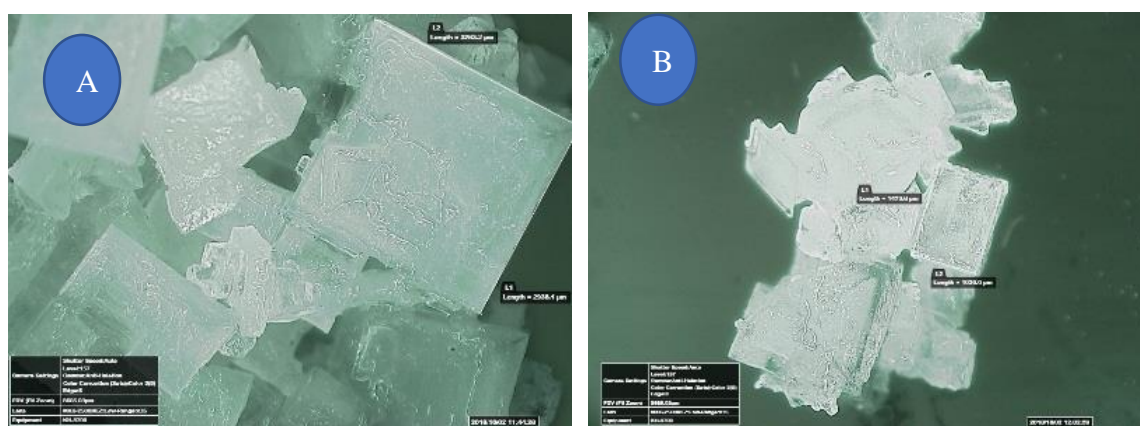
dengan memompa ion Na^+ dari dalam selnya (Gonzales *et al.*, 2004). Ketergantungan terhadap kation K^+ dan Na^+ pada bakteri halofilik berkaitan dengan aktifitas selulernya yang sangat bergantung terhadap kation-kation tersebut (Empadinhas & da Costa, 2008). Fenomena pertukaran ion Na^+ dan K^+ ini kemudian akan mengubah kesetimbangan jumlah konsentrasi kation larutan air tua menjadi lebih jenuh ion Na^+ dan akan meningkatkan reaksi ikatan antara ion Na^+ dan Cl^- menjadi NaCl dan mereduksi kemungkinan terjadinya copresipitasi ion-ion lain untuk berikatan dengan ion Cl^- . Penambahan nutrisi dengan jumlah yang kecil menyebabkan bakteri halofilik ekstrim berwarna merah yang digunakan mengalami stress karena kekurangan nutrisi. Pada kondisi kurangnya karbon organik terlarut yang tersedia pada lingkungan tumbuhnya, sel bakteri halofilik dapat mengakumulasi ion Mg^{2+} dalam jumlah yang cukup besar (Heldal *et al.*, 2012) hal ini mendukung hasil penelitian ini dimana pada perlakuan 1 dimana persentase Mg^{2+} jauh lebih kecil yaitu 1,07% dibandingkan perlakuan tanpa adanya penambahan bakteri halofilik ekstrim berwarna merah lainnya yaitu 2,24% dan 2,09%.

Lopez-cortes & Ochoa (1998) menyatakan bahwa famili halobakteria berperan penting dalam proses pembentukan template atau inti kristal NaCl . Dengan adanya kemampuan tersebut maka pembentukan kristal NaCl akan menjadi lebih cepat dibandingkan presipitasi atau pembentukan senyawa lain sehingga fenomena kopresipitasi dapat diminimalisir. Proses nukleasi kristal garam merupakan hal yang sangat penting dalam pembentukan dan perkembangan kristal garam.

Dari gambar 2 terlihat bahwa semakin tinggi kemurnian NaCl yang dihasilkan dari proses kristalisasi maka kandungan impuritas Mg dan kadar air pada kristal garam akan semakin rendah. Tingginya senyawa Mg^{2+} yang terdapat pada garam akan meningkatkan kadar air karena ketika terpapar uap air maka senyawa Mg akan mengikat air yang ada sehingga garam akan terkesan lebih basah apabila memiliki kandungan Mg yang cukup tinggi.

3.2. Pengaruh Penambahan Bakteri Halofilik Terimmobilisasi Terhadap Morfologi Kristal Garam

Output dari proses kristalisasi air tua adalah garam NaCl , bentuk dan ukuran kristal sangat mempengaruhi kualitas dan juga harga dari garam yang dihasilkan (Davis & Giordano, 1996). Pada gambar 3 terlihat bahwa terdapat perbedaan kristal garam NaCl yang terbentuk dari tiap-tiap perlakuan, pada perlakuan 1 kristal garam berukuran besar dan memiliki bentuk kubik yang hampir sempurna sedangkan kristal garam pada perlakuan 2 memiliki bentuk piramida dan kubik dengan ukuran yang lebih kecil dan kontrol negatif memiliki bentuk kristal berbentuk piramida berongga.



sebagai tempat analisa dan didapatkannya data-data penelitian ini, dan juga kepada PT. Garam Mulia selaku pihak yang memfasilitasi kami lahan untuk pelaksanaan penelitian ini.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Castanier, S., Perthuisot, J. P., Matrat, M., Morvan, J. V. (1999). The salt ooids of berre saltworks (bouches du rhone, france) the role of bacteria in salt crystallisation. *Sedimentary geology*. (125) pp: 9-21
- Das Sarma, S & Arora, p. (2001). Halophiles. *Encyclopedia of life science*. pp 1-9
- Davis, J.S dan Giordano M. (1996). Biological and physical events involved in the origin, effect, and control of organic matter in solar saltworks. *International Journal of salt lake research*. 4. pp 335-347
- Davis, J.S. (2000). Structure, function, and management of the biological system for seasonal solar saltworks. *Global NEST Journal*. 2(3). pp 217-226
- Davis, J.S. (2009). Management of biological systems for continuously operated solar saltworks. *Global NEST Journal*. 11(1). pp 73-78
- Empadinhas, N., da Costa, M.S. (2008). Osmoadaptation mechanism in prokaryotes: distribution of compatible solutes. *International microbiology*. 11. pp 151-161
- Gonzalez-hernandez, J.C., Cardenas-monroy, C.A., Pena, A. (2004). Sodium and potassium transport in the halophilic yeast *Debaryomyces hansenii*. *Yeast*. 21. pp 403-412
- Heldal, M., Norland, S., Erichsen, E.S., Bratbak, G., Sandaa, R.A., Larsen, A., Thingstad, F. (2012). Carbon limited marine bacteria keep high internal Mg²⁺ concentration. *ISME Journal*. 6(3). pp 524-530. DOI: 10.1038/ismej.2011
- Giordano, M., Bargnesi, F., Ratti, S. (2014). The presence of the green alga *Dunaliella salina* in crystallizer ponds of salinas can appreciably affect the quality of NaCl crystal. *Proceedings of international conference solar saltworks & the economical value of biodiversity*. pp 13-17
- Javor, B.J. (2002). Industrial microbiology of solar salt production. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*. 28. pp 42-47
- Lopez-Cortes, L.A., Ochoa, L.J. (1998). The biological significance of halobacteria on nucleation and sodium chloride crystal growth. *Elsevier science B.V. Studies in Surface Science and Catalysis*, 120. pp:903-922.
- Marihati., Harihastuti, N., Nilawati., Eddy, S., Hermawan, D.W. (2014). Penggunaan bakterihalofilik sebagai biokatalisator kualitas dan produktifitas garam NaCl di meja kristalisasi. *Jurnal riset industri*. 8(3). pp 191-196
- Nilawati., Marihati., Malik, R.A. (2017). Kemampuan isolat bakteri *Haloferax* spp dalam meningkatkan kemurnian garam NaCl pada proses kristalisasi. *Jurnal riset teknologi pencegahan pencemaran industri*. 8(2). pp 92-103
- Oren, A. (2010). Thoughts on the "missing link" between saltworks biology and solar salt quality. *Global NEST Journal*. 12 (4). pp-417-425
- Oren, A, (2010). Industrial and environmental applications of halophilic microorganism. *Environmental Technology*. 31(8). pp 825-934
- Pooja, S & Gupta, M. (2011). Halophilic bacteria and their compatible solutes osmoregulation and potential application. *Current science*. 100(10). pp 1516-1521.
- Roberts, M.F. (2005). Organic compatible solutes of halotolerant and halophilic microorganism. *Saline systems*. 1(5). pp 1-30. DOI:10.1186/1746-1448-1-5.