JURNAL INTEGRASI PROSES

Website: http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip

Submitted : 19 April 2025 *Revised : 25 Mei 2025* *Accepted : 12 June 2025*

PENINGKATAN KADAR NATRIUM KLORIDA (NaCl) DAN PENGURANGAN IMPURITAS AIR LAUT UNTUK GARAM INDUSTRI DENGAN KARBONASI CO_2

Aliza Milah Rahma*, Muhammad Nabil Hamid, Mutasim Billah, Nove Kartika Erliyanti, Nurul Widji Triana, Novel Karaman

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, 60294, Indonesia

*Email: 21031010027@student.upnjatim.ac.id

Abstrak

Peningkatan kadar natrium klorida dan pengurangan impuritas air laut dapat meningkatkan kualitasnya sebagai bahan baku untuk pembuatan garam industri. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam proses pemurnian ini adalah pemanfaatan gas karbon dioksida sebagai agen pengikat impuritas. Karbon dioksida bereaksi dengan ion–ion tertentu dalam air laut membentuk senyawa karbonat yang tidak larut, sehingga dapat dipisahkan melalui proses presipitasi. Dalam penelitian ini, parameter utama yang dibandingkan untuk menentukan efektivitas proses adalah laju alir gas karbon dioksida dan waktu kontak antara gas karbon dioksida dengan air laut. Laju alir gas karbon dioksida yang digunakan adalah 400, 500, 600, 700, dan 800 mL/menit, serta waktu kontak pada rentang 15, 20, 25, 30, dan 35 menit. Penelitian ini berhasil mengurangi kadar pengotor Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air laut yang semula berturut–turut sebesar 0,12 dan 0,16% menjadi 0,0203 dan 0,0115%, serta meningkatkan kadar natrium klorida yang semula 1,88 menjadi 2,4502% dengan laju alir karbon dioksida 800 mL/menit dan waktu kontak selama 35 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak dan semakin besar laju alir gas karbon dioksida yang digunakan, maka kadar pengotor dalam air laut akan semakin kecil dan kadar natrium klorida akan semakin meningkat.

Kata Kunci: Air laut; Garam; Karbon dioksida; Karbonasi

Abstract

Increasing the sodium chloride content in seawater using carbon dioxide gas as an impurity binder can improve the quality of seawater as a raw material for industrial salt production. The use of carbon dioxide as a binder of impurities in seawater aims to utilize carbon dioxide and store it in the form of carbonates so that it can form substances that are insoluble in water. The comparison factors used in this study to produce seawater that complies with the standard are the carbon dioxide gas flow rate and contact time. The carbon dioxide gas flow rate used was 400, 500, 600, 700, and 800 mL/min, and the contact time was 15, 20, 25, 30, and 35 minutes. This study successfully reduced the levels of Ca^{2+} and Mg^{2+} impurities in seawater from 0.12 and 0.16% to 0.0203 and 0.0115%, respectively, and increased sodium chloride levels from 1.88% to 2.4502% with a carbon dioxide flow rate of 800 mL/min and a contact time of 35 minutes. These results indicate that the longer the contact time and the greater the carbon dioxide gas flow rate used, the smaller the impurity content in seawater and the higher the sodium chloride content.

***Keywords**: Carbon dioxide; Carbonation; Salt; Sea water*

1. PENDAHULUAN

Air laut di Indonesia terdiri atas campuran 96,5% air murni dan 3,5% zat lain seperti garam, gas terlarut, bahan organik, dan partikel tidak larut (Prastuti, 2017). Unsur–unsur utama dalam air laut terdiri dari 55% klorin (Cl^-), 30,7% natrium (Na^+), 3,6% magnesium (Mg^{2+}), 7,7% sulfat (SO_4^{2-}), 1,2% kalsium (Ca^{2+}), dan 1,1% kalium (K^+). Natrium klorida merupakan senyawa

garam yang paling banyak ditemukan dalam air laut dibandingkan dengan garam–garam lainnya (Natasha & Sulistiyono, 2016). Hal tersebut menjadikan air laut merupakan salah satu bahan baku utama dalam pembuatan garam.

Selain natrium klorida, air laut juga mengandung pengotor, yakni kandungan ion Mg^{2+} sebesar 3,67% dan Ca^{2+} sebesar 1,18% (Millero, 2013). Banyaknya kandungan mineral yang terkandung disebut dengan kesadahan air. Tingginya kandungan ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} dapat menyebabkan pengendapan mineral yang dapat menghambat proses produksi garam (Mubarok et al., 2021). Hal tersebut dapat menurunkan kualitas air laut sebagai bahan baku pembuatan garam. Maka dari itu, diperlukan penurunan ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} serta meningkatkan kadar natrium klorida (NaCl) dalam air laut. Peningkatan kadar garam dalam air laut akan meningkatkan kualitas garam yang dihasilkan (Rohma et al., 2021).

Pengendapan ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti metode pertukaran ion, filtrasi dengan membran, karbonasi, dan presipitasi (Martina et al., 2016). Pada proses ini digunakan metode karbonasi dengan karbon dioksida sebagai agen pengikat impuritas. Kelebihan utama dari proses ini terletak pada kemampuannya untuk menghilangkan impuritas secara selektif tanpa memerlukan bahan kimia tambahan yang berbahaya. Karbonasi hanya membutuhkan gas karbon dioksida yang relatif aman dan ramah lingkungan. Hal ini menjadikan proses karbonasi lebih berkelanjutan dan mudah dikendalikan dalam skala industri. Selain itu, endapan yang terbentuk melalui karbonasi umumnya memiliki ukuran partikel yang relatif besar, sehingga mudah dipisahkan melalui proses sedimentasi atau filtrasi. Hal ini mendukung efisiensi pemurnian dan mempermudah proses lanjutan (Chen & Wang, 2019).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Elysia et al. (2020), pengendapan magnesium dan kalsium dalam air laut menggunakan bahan pengikat berupa asam stearat dan natrium hidroksida (NaOH) dengan waktu 60 menit serta variasi suhu (80 dan 90 °C) dan konsentrasi natrium stearat (5 dan 10%) terbukti dapat meningkatkan yield ion Mg^{2+} hingga 97,361% dan yield ion Ca^{2+} hingga 77,558%. Hasil tersebut merupakan hasil optimum yang didapatkan dari pengolahan data menggunakan *response surface methodology* (RSM) dengan metode *central composite design* (CCD). Hasil optimum ini dicapai pada suhu 92,07 °C dan konsentrasi natrium stearat 3,96% untuk mengendapan ion Mg^{2+}, sedangkan pada suhu 82,78°C dan konsentrasi natrium stearat sebesar 11,03% untuk mengendapkan ion Ca^{2+}. Namun proses ini tidak dapat dijalankan pada suhu rendah karena natrium stearat akan berwujud padat pada suhu rendah (Elysia et al., 2020).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Bang et al. (2022) menggunakan campuran senyawa karbon dioksida (CO_2) dan nitrogen (N_2) sebagai bahan pengikat impuritas dalam air laut dengan metode karbonasi. Variasi laju alir campuran senyawa karbon dioksida dan nitrogen (0,6, 1, dan 1,5 L/menit) dengan konsentrasi karbon dioksida sebesar 15% dari laju alir total yang diinjeksikan ke dalam brine (1 liter). Pengadukan juga dilakukan dengan kecepatan 250 rpm. Hasil terbaik didapatkan pada laju alir 0,6 L/menit. Konsentrasi Mg^{2+} dan Ca^{2+} dalam air laut yang semula berturut–turut sebesar 0,12 dan 0,16% menjadi 0,0203 dan 0,0115%, dengan konversi ion Mg^{2+} sebesar 97% dan konversi ion Ca^{2+} sebesar 90%. Dari hasil penelitian ini juga disimpulkan bahwa pengadukan pada proses karbonasi tidak mempengaruhi secara signifikan hasil yang didapatkan. Selain itu proses karbonasi harus dilakukan dalam keadaan basa. Keadaan basa dapat dicapai dengan menambahkan senyawa basa seperti natrium hidroksida (NaOH), amonium hidroksida (NH_4OH) dan senyawa basa lainnya. Pada pH larutan 8 dengan laju alir campuran sebesar 0,6 L/menit dan laju alir gas karbon dioksida sebesar 0,09 L/menit selama 4 menit, sekitar 90% ion Ca^{2+} berhasil terkonversi menjadi $CaCO_3$. Sementara itu, dibutuhkan waktu 19 menit untuk mengonversi ion Mg^{2+}, sehingga secara keseluruhan gas CO_2 yang dapat bereaksi mencapai 99%. Kelemahan dari proses ini adalah penurunan efisiensi reaksi akibat pengenceran konsentrasi karbon dioksida, sehingga proses presipitasi akan berjalan lebih lambat dan memerlukan waktu kontak yang lebih lama (Bang et al., 2022).

Penelitian lainnya juga dilakukan oleh Chae (2019) pada bahan baku brine dengan pengikat impuritas berupa campuran senyawa karbon dioksida dan nitrogen dengan konsentrasi karbon dioksida 15% dari laju alir total yakni 0,6 L/menit (laju alir karbon dioksida 0,09 L/menit). Keadaan basa dicapai dengan penambahan natrium hidroksida hingga larutan pH menjadi 10,5. Penambahan natrium hidroksida hingga pH larutan menjadi 10,5 dapat meningkatkan yield Mg^{2+} hingga 23% dan yield Ca^{2+} hingga 90%, sedangkan pada saat pH mencapai 11 dapat meningkatkan yield Mg^{2+} hingga 29% dan yield Ca^{2+} hingga 99%. Kemudian dilakukan proses karbonasi sebanyak 4 kali dengan waktu 4,5, 5, 7, dan 9 menit secara berturut–turut. Penelitian ini terbukti dapat meningkatkan yield Mg^{2+} hingga 86% dan yield Ca^{2+} hingga 99% (Chae et al., 2019).

Penelitian ini melakukan pengurangan ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} dalam air laut dengan menggunakan bahan pengikat impuritas, yakni gas karbon dioksida. Kebaruan dari studi ini terletak pada penggunaan gas karbon dioksida murni tanpa pengenceran dengan gas inert seperti nitrogen. Penggunaan karbon dioksida murni dalam penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan kondisi reaksi yang lebih reaktif, cepat, dan efektif, serta mampu membentuk endapan karbonat dalam jumlah yang lebih besar dalam waktu yang lebih singkat. Konversi cepat karbon dioksida yang diinjeksikan ke dalam air laut menjadi karbonat yang tidak larut dalam air merupakan hal yang dapat dipertimbangkan dalam pemilihan bahan pengikat impuritas pada air laut (Plante et al., 2021). Kondisi tersebut didukung dengan bahan kimia basa yaitu natrium hidroksida. Natrium hidroksida digunakan untuk meningkatkan pH dan memaksimalkan pengendapan mineral karbonat serta meningkatkan

kadar natrium klorida (NaCl) pada air laut (Park et al., 2021).

2. BAHAN DAN METODE

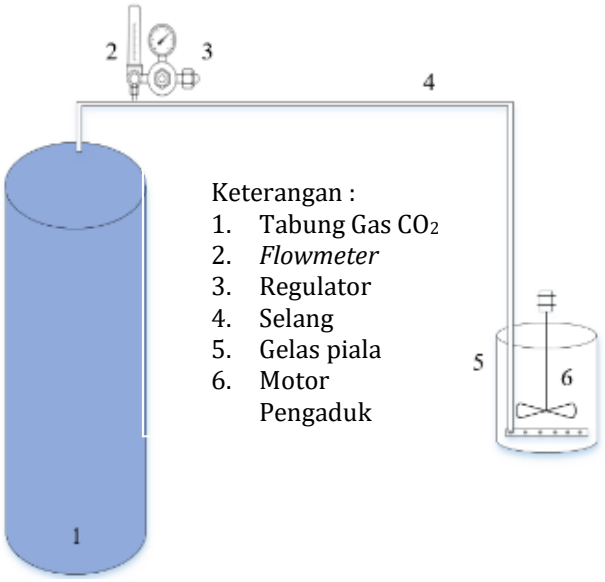
Bahan yang digunakan adalah air laut dari daerah Sukomulyo, Kec. Manyar, Kab. Gresik, Jawa Timur. Bahan pendukung lainnya yaitu gas karbon dioksida murni (100%) yang berasal dari Toko Malson Gas dan larutan natrium hidroksida (NaOH) 1 M yang berasal dari Toko Kimia Market.

2.1 Persiapan Bahan Baku

Bahan baku air laut dianalisis kadar ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} dengan titrasi kompleksometri serta analisis kadar natrium klorida (NaCl) dengan titrasi argentometri. Kemudian air laut sebanyak 1.000 mL yang telah dianalisis kadar ion Mg^{2+} dan Ca^{2+}, serta kadar natrium kloridanya, ditambahkan larutan natrium hidroksida 1 M sebanyak 170 mL untuk menaikkan pH dari 7 menjadi ±11.

2.2 Tahap Karbonasi

Proses karbonasi dilakukan pada tekanan 1 atm dan suhu 28 °C dengan menggunakan gas karbon dioksida. Gas karbon dioksida diinjeksikan ke dalam air laut yang telah ditambahkan natrium hidroksida, disertai pengadukan dengan kecepatan pengadukan 250 rpm, dengan variasi waktu kontak (15, 20, 25, 30, dan 35 menit) dan laju alir gas karbon dioksida (0,4; 0,5; 0,6; 0,7; dan 0,8 L/menit). Natrium hidroksida berfungsi sebagai bahan yang dapat mengontrol pH larutan serta sebagai bahan yang dapat meningkatkan kadar natrium klorida dalam larutan. Kemudian larutan yang telah diinjeksi gas karbon dioksida didiamkan hingga terdapat endapan berwarna putih keruh. Skema rangkaian alat karbonasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat karbonasi

2.3 Tahap Filtrasi

Tahap filtrasi dilakukan menggunakan kertas saring Whatman untuk memisahkan antara filtrat dan endapan. Filtrat yang dihasilkan dianalisis kadar ion Mg^{2+} dan Ca^{2+}, serta analisis kadar natrium kloridanya.

2.4 Tahap Analisis

2.4.1 Kadar Mg^{2+} dan Ca^{2+}

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kadar Mg^{2+} dan Ca^{2+} dalam air laut setelah dilakukan perlakuan dengan variasi waktu kontak dan laju alir gas karbon dioksida. Metode yang digunakan adalah titrasi kompleksometri berdasarkan SNI 06-6989.12-2004. Rumus yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

$$Ca^{2+} = \frac{1000}{V_{Cu}} \times V_{EDTA\,(b)} \times M_{EDTA} \times 40 \quad (1)$$

$$Mg^{2+} = \frac{1000}{V_{Cu}} \times \left(V_{EDTA\,(a)} - V_{EDTA\,(b)}\right) \times M_{EDTA} \times 24{,}3 \quad (2)$$

Di mana Ca^{2+} dan Mg^{2+} merupakan kadar Ca^{2+} dan Mg^{2+}, V_{Cu} adalah volume dari sampel yang dititrasi (mL), $V_{EDTA\,(a)}$ adalah volume Na_2EDTA untuk titrasi kesadahan total (mL), $V_{EDTA\,(b)}$ adalah volume Na_2EDTA untuk titrasi kadar Ca^{2+} (mL), dan M_{EDTA} adalah konsentrasi Na_2EDTA yang digunakan untuk titrasi.

2.4.2 Kadar NaCl

Pengujian kadar NaCl dalam air laut setelah perlakuan ini dilakukan dengan titrasi argentometri berdasarkan SNI 06-6989.19-2004. Rumus yang digunakan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar } Cl^- = (V \times \text{N})_{AgNO_3} \times \text{BM } Cl^- \times \frac{1000}{\text{V yang dititrasi}} \quad (3)$$

$$\text{Kadar NaCl} = \left(\frac{mg}{L} Cl^-\right) \times 1{,}65 \quad (4)$$

Di mana kadar Cl^- merupakan kadar Cl^- dalam air laut setelah perlakukan, V adalah volume $AgNO_3$ untuk titrasi sampel (mL), N adalah normalitas $AgNO_3$ untuk titrasi sampel, BM Cl^- adalah berat molekul Cl, V yang dititrasi adalah volume sampel yang dititrasi (mL).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis awal bahan baku dilakukan untuk mengidentifikasi kadar ion Mg^{2+}, ion Ca^{2+}, dan NaCl pada air laut yang diperoleh dari daerah Sukomulyo, Kec. Manyar, Kab. Gresik, Jawa Timur.

Tabel 1. Hasil analisis bahan baku air laut

Parameter Uji	Konsentrasi (%)
Mg^{2+}	0,12
Ca^{2+}	0,16
NaCl	1,88

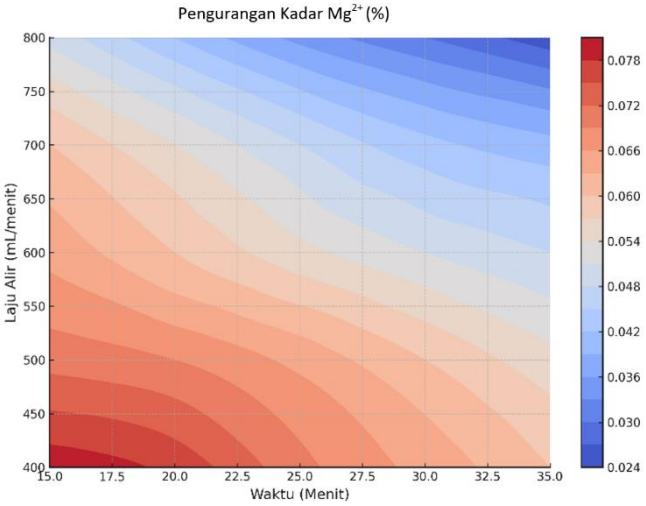
Berdasarkan Tabel 1, diketahui kadar ion Mg^{2+} sebesar 0,12%, ion Ca^{2+} sebesar 0,16%, dan NaCl sebesar 1,88%. Hal ini menunjukkan bahwa air laut dari daerah Sukomulyo, Kec. Manyar, Kabupaten Gresik memiliki kadar ion Mg^{2+} dan ion Ca^{2+} yang tinggi, sehingga perlu dilakukan pengurangan impuritas dan peningkatan kadar garam NaCl dalam air laut sebagai bahan baku pembuatan garam industri.

3.1 Kadar Ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} dalam Air Laut

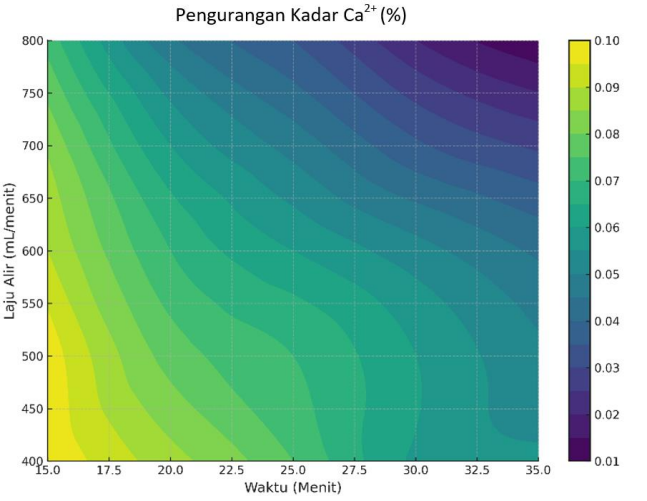
Mineralisasi CO_2 adalah salah satu metode penyerapan CO_2. Dalam metode ini, CO_2 bereaksi dengan kalsium dan magnesium untuk membentuk kalsium karbonat dan magnesium karbonat (Elysia et al., 2020). Dengan berkurangnya kadar Mg^{2+} dan Ca^{2+} maka kualitas air laut sebagai bahan baku pembuatan garam semakin meningkat. Penurunan konsentrasi Mg^{2+} dan Ca^{2+} ini dapat terjadi karena adanya kontak antara gas karbon dioksida dan air laut dalam kondisi basa (pH 11). Sebagian gas akan larut ke dalam air dan bereaksi dengan ion OH^- yang dihasilkan dalam kondisi basa, membentuk ion bikarbonat (HCO_3^-). Selanjutnya ion bikarbonat akan bereaksi dengan ion $OH-$ berlebih menjadi ion karbonat (CO_3^{2-}), dan air. Dengan ion karbonat inilah, ion magnesium dan kalsium akan bereaksi membentuk kalsium karbonat dan magnesium karbonat.

Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa konsentrasi Mg^{2+} dan Ca^{2+} semakin menurun dengan meningkatnya waktu kontak dan laju alir gas karbon dioksida. Pengaruh laju alir cukup signifikan terhadap penurunan konsentrasi Mg^{2+} dan Ca^{2+} terutama pada laju alir tinggi (>600 mL/menit). Namun jika dibandingkan, konsentrasi Ca^{2+} menurun lebih drastis dibandingkan konsentrasi Mg^{2+}. Hal ini terjadi karena ion Mg^{2+} kurang reaktif dibandingkan ion Ca^{2+} dalam membentuk endapan karbonat. Berdasarkan *contour map* tersebut, perubahan konsentrasi jauh lebih drastis secara vertikal (arah laju alir) dibanding horizontal (arah waktu). Diketahui pula, apabila waktu tetap dijaga konstan (misalnya 25 menit), peningkatan laju alir dari 400 – 800 mL/menit menyebabkan penurunan yang besar pada konsentrasi Mg^{2+} dan Ca^{2+}. Efek laju alir tampak lebih langsung dan lebih tajam dibandingkan waktu kontak. Penambahan waktu sangat membantu, namun perubahan konsentrasi yang ditimbulkan tidak sebesar jika laju alir ditingkatkan.

Waktu kontak yang semakin lama akan meningkatkan gas karbon dioksida yang larut dalam air laut dan meningkat juga pembentukan ion karbonat yang kemudian akan bereaksi dengan ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} membentuk magnesium karbonat dan kalsium karbonat. Meningkatnya waktu kontak juga meningkatkan kesempatan terjadinya reaksi presipitasi (pengendapan karbonat, terutama kalsium karbonat). Kalsium karbonat memiliki kecenderungan yang lebih kuat untuk mengendap pada pH yang lebih rendah dibandingkan dengan magnesium karbonat, karena pada pH yang rendah, kelarutan magnesium karbonat dan kalsium karbonat juga menurun. Namun seiring dengan bertambahnya waktu kontak yang terlalu lama, ion karbonat yang diperlukan dalam pembentukan magnesium karbonat dan kalsium karbonat akan semakin berkurang dikarenakan terjadinya penurunan pH. Sedangkan jika waktu kontak terlalu singkat, maka reaksi tidak berjalan sempurna, di mana hanya ada sebagian kecil gas karbon dioksida yang akan larut dan bereaksi dalam air laut serta menghasilkan sedikit perubahan pada pH dan konsentrasi pada ion karbonat. Sehingga proses presipitasi akan terbatas dan endapan karbonat yang dihasilkan akan lebih sedikit (Zhang et al., 2024).



Gambar 2. *Contour map* kombinasi waktu kontak dan laju alir gas karbon dioksida terhadap kadar Mg^{2+}



Gambar 3. *Contour map* kombinasi hubungan waktu kontak dan laju alir gas karbon dioksida terhadap kadar Ca^{2+}

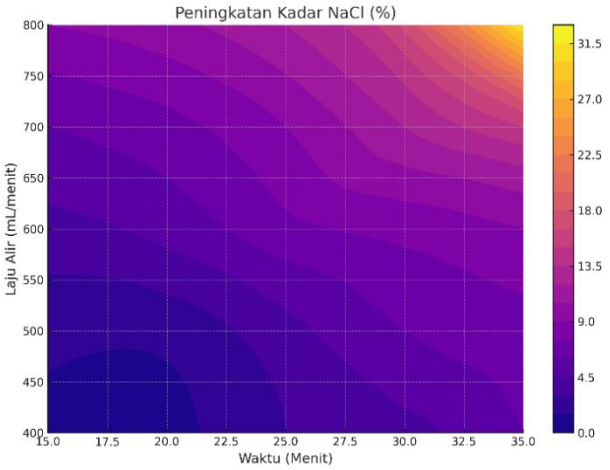
Proses karbonasi juga dipengaruhi oleh laju alir gas karbon dioksida. Dengan menggunakan laju alir gas karbon dioksida yang tinggi, maka suplai gas karbon dioksida juga akan meningkat, tentunya hal tersebut akan mempercepat proses pelarutan gas karbon dioksida ke dalam air laut atau dapat dikatakan bahwa transfer massa karbon dioksida dari fase gas ke fase cair lebih cepat karena gradien konsentrasi yang lebih besar sehingga dapat meningkatkan konsentrasi karbon dioksida terlarut dalam air laut. Selain itu, dengan laju alir karbon dioksida yang tinggi, proses menjadi lebih efisien karena dapat menghasilkan lebih banyak ion bikarbonat dan ion karbonat. Turbulensi yang dihasilkan karena adanya laju alir gas yang tinggi menjadikan adanya agitasi alami yang dapat meningkatkan kontak antara gas karbon dioksida dan air laut. Sedangkan penggunaan laju alir gas karbon dioksida yang rendah menjadikan pelarutan gas karbon dioksida menjadi terbatas karena suplai gas

yang diberikan juga terbatas, sehingga hanya sebagian kecil gas karbon dioksida yang dapat larut ke dalam air laut. Di samping hal tersebut, laju alir yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan adanya penurunan pH yang drastis karena semakin banyak karbon dioksida yang larut dan bereaksi membentuk ion H^+. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan ion karbonat, sehingga presipitasi magnesium karbonat dan kalsium karbonat menjadi terhambat karena ketersediaan ion karbonat berkurang. Namun dalam penelitian ini, hal tersebut diatasi dengan penambahan larutan basa NaOH untuk meningkatkan konsentrasi ion OH^-. Pada pH yang tinggi, presipitasi magnesium dan kalsium karbonat akan lebih cepat terjadi karena kelarutan magnesium karbonat dan kalsium karbonat akan berkurang pada kondisi basa (Pujiastuti et al., 2017)

Metode karbonasi menggunakan gas karbon dioksida terbukti efektif dalam menurunkan impuritas air laut. Dalam penelitian ini, konsentrasi Mg^{2+} dan Ca^{2+} berhasil diturunkan dari 0,12 dan 0,16% menjadi 0,0203 dan 0,0115%. Efisiensi ini menunjukkan kinerja yang sangat baik jika dibandingkan dengan metode lain. Campuran gas karbon dioksida dan nitrogen diketahui memberikan efisiensi yang lebih rendah karena penurunan tekanan parsial CO_2 dapat menghambat pembentukan karbonat (Bang et al., 2022). Teknologi membran seperti nanofiltrasi dan *bipolar membrane electrodialysis* juga digunakan untuk mengurangi ion divalen. Pada penelitian yang dilakukan oleh Asano et al. (2007), menggunakan nanofiltrasi menurunkan Ca^{2+} hingga 29% dan Mg^{2+} hingga 62%, sedangkan metode dengan *bipolar membrane electrodialysis* yang dilakukan oleh Duan et al. (2022), menunjukkan efisiensi >90% namun biaya investasi dan operasional yang tinggi serta resiko *fouling* membran yang besar. Adapula penelitian yang dilakukan oleh Pujiastuti et al. (2017), menggunakan *cation exchanger* mampu menurunkan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} hingga 93,6 dan 78,93%, tetapi membutuhkan regenerasi resin secara berkala. Sehingga dibandingkan dengan metode yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya, metode karbonasi dengan karbon dioksida murni lebih unggul karena dapat menghasilkan kadar sisa Mg^{2+} dan Ca^{2+} jauh lebih rendah dan tidak memerlukan energi yang tinggi atau regenerasi resin/membran.

3.2 Kadar Natrium Klorida (NaCl)

Pengaruh variasi waktu kontak dan laju alir gas karbon dioksida terhadap konsentrasi natrium klorida (NaCl) dalam air laut disajikan pada Gambar 4. Peningkatan konsentrasi NaCl dalam air laut dapat terjadi karena adanya pengurangan impuritas, yakni Mg^{2+} dan Ca^{2+}. Sebelum dilakukan reaksi karbonasi, air laut mengandung garam–garam, seperti NaCl, $MgCl_2$, dan $CaCl_2$. Senyawa–senyawa tersebut merupakan senyawa ionik yang larut dalam air dan terdisosiasi menjadi ion–ion. Adanya injeksi gas karbon dioksida menyebabkan terjadinya presipitasi Mg^{2+} dan Ca^{2+} menjadi magnesium karbonat dan kalsium karbonat, sehingga ion tersebut tidak lagi berkontribusi pada konsentrasi ion terlarut dalam air laut.



Gambar 4. *Contour map* kombinasi hubungan laju alir gas karbon dioksida dan waktu kontak terhadap Kadar NaCl (%)

Selain itu, terdapat penambahan NaOH yang juga merupakan senyawa ionik yang larut dalam air terdisosiasi menjadi ion–ion Na^+ dan OH^-. Hal tersebut meningkatkan kandungan ion Na^+ dalam air laut karena ion natrium dari NaOH akan bercampur dengan ion natrium yang telah ada di dalam air laut. Sehingga air laut yang telah dilakukan perlakuan akan mengandung lebih banyak ion Na^+ yang kemudian akan membentuk senyawa NaCl dengan mengikat ion Cl^- yang terbebas dari Mg^{2+} dan Ca^{2+} apabila dilakukan evaporasi atau pengurangan kadar air pada air laut seperti yang dilakukan dalam pembuatan garam (Maulana et al., 2017). Meningkatnya kandungan ion Na^+ dan Cl^- serta berkurangnya impuritas ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} dapat meningkatkan kualitas bahan baku pembuatan garam dan akan menghasilkan garam dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Hasil tersebut telah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Yoo et al. (2017), di mana semakin besar waktu kontak dan laju alir karbon dioksida yang meningkat, akan semakin besar konsentrasi NaCl dalam air laut.

Laju alir mempengaruhi kontak antara air laut dan gas karbon dioksida. Laju alir yang lebih tinggi menyebabkan reaksi antara NaOH, air laut, dan karbon dioksida lebih cepat. Pencampuran yang baik sangat penting dalam proses karbonasi, karena hal ini memungkinkan gas karbon dioksida lebih cepat larut dan berinteraksi dengan ion–ion lainnya. Laju alir yang tinggi dapat meningkatkan tingkat difusi, di mana akan ada lebih banyak karbon dioksida terlarut dan berinterasi dengan ion lainnya dalam waktu yang lebih singkat. Laju alir yang rendah dapat mengurangi kecepatan pencampuran, sehingga reaksi karbonasi menjadi lebih lambat (Shim et al., 2016).

Berdasarkan Gambar 4, terlihat lonjakan besar dalam peningkatan konsentrasi NaCl pada laju alir tertinggi, yakni 800 mL/menit dan 35 menit sebesar 32% dari konsentrasi awal. Pengaruh penambahan waktu juga meningkatkan konsentrasi NaCl, namun efeknya tidak linier jika laju alir gas karbon dioksida yang digunakan rendah. Peningkatan signifikan baru terlihat jika waktu dan laju alir sama–sama tinggi,

sehingga peningkatan kadar NaCl paling efektif terjadi saat laju alir gas karbon dioksida tinggi, karena ion lain diendapkan, dan menyisakan NaCl dalam larutan.

Secara prinsip, metode karbonasi CO_2 tidak secara langsung menambahkan NaCl dalam air laut, tetapi berkontribusi terhadap peningkatan relatif konsentrasi Na^+ dan Cl^- akibat dari presipitasi ion divalen Mg^{2+} dan Ca^{2+}. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Bang et al. (2022), karbonasi dilakukan pada air laut menggunakan campuran gas karbon dioksida dan nitrogen dengan laju alir gas 0,6 L/menit dapat meningkatkan NaCl hingga 0,47%. Jika dibandingkan dengan penelitian ini, maka hasil NaCl yang dihasilkan cukup jauh yakni 32% dari konsentrasi awal, sehingga metode karbonasi lebih unggul dalam meningkatkan NaCl pada air laut karena biaya yang rendah dan ramah lingkungan. Selain itu, cocok untuk pengolahan air laut skala menengah–besar.

4. KESIMPULAN

Peningkatan kadar NaCl dalam air laut dengan karbonasi CO_2 dipengaruhi oleh waktu kontak dan laju alir gas CO_2. Semakin besar laju alir karbon dioksida dan waktu kontak, maka kadar NaCl semakin meningkat, seiring dengan menurunnya konsentrasi Mg^{2+} dan Ca^{2+}. Terjadi peningkatan konsentrasi NaCl dalam air laut yang semula 1,88 menjadi 2,4502%, dan penurunan konsentrasi Mg^{2+} dan Ca^{2+} yang semula berturut–turut sebesar 0,12 dan 0,16% menjadi 0,0203 dan 0,0115%, dengan laju alir karbon dioksida 800 mL/menit dan waktu kontak selama 35 menit.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada pihak Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian ini sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan dapat bermanfaat bagi semua pihak.

6. DAFTAR PUSTAKA

Asano, T., Burton, F. L., Leverenz, H. L., Tsuchihashi, R., & Tchobanoglous, G. (2007). Water reuse: Issues, technologies, and applications. McGraw-Hill.

Bang, J.H., Chae, S.C., Song, K., & Lee, S.W. (2022). Optimizing experimental parameters in sequential CO_2 mineralization using seawater desalination brine. Desalination, 519, 1–8.

Chae, S.C., Bang, J.H., Lee, S.W., Kim, J.W., Song, K., Kim, J., & Kim, W. (2019). Sequential carbonate mineralization of desalination brine for CO_2 emission reduction. Journal of CO_2 Utilization, 33, 427–433.

Chen, L., & Wang, M. (2019). Carbon dioxide sequestration via mineral carbonation in seawater. Journal of Environmental Science and Technology, 53(4), 221–229.

Duan, Y., Wang, M., Xu, J., Zhang, Y., Shi, L., & Lin, S. (2022). Bipolar membrane electrodialysis coupled with CO_2 stripping for ion removal. Chemical Engineering Journal, 435(1), 135018.

Elysia, A., Sanjaya, D., Widayat, & Kusmiyati. (2020). modifikasi pembuatan garam industri dari air laut dengan metode pengendapan – mikrofiltrasi. Indonesian Journal of Halal, 4(2), 40–51.

Martina, A., Witono, J.R., Pamungkas, G.K., Willy. (2016). Pengaruh kualitas bahan baku dan rasio umpan terhadap pelarut pada proses pemurnian garam dengan metode hidroekstraksi batch. Jurnal Teknik Kimia USU, 5(1), 1–6.

Maulana, K.D., Jamil, M.M., Putra, P. E. M., Rohmawati, B., & Rahmawati. (2017). Peningkatan kualitas garam bledug kuwu melalui proses rekristalisasi dengan pengikat pengotor CaO, $Ba(OH)_2$, dan $(NH_4)_2CO_3$. Journal of Creativity Student, 2(1), 42–46.

Millero, F. J. (2013). Chemical oceanography (4th Edition). CRC Press.

Mubarok, M.R., Indrayani, Y.D., Soemargono, & Supriyanti, L. (2021). Peningkatan kadar sodium chlorida di dalam air laut dengan penambahan larutan sodium hidroksida. Jurnal ChemPro, 2(2), 31–37.

Natasha, N.C., & Sulistiyono, E. (2016). Ekstraksi garam magnesium dari air laut melalui proses kristalisasi. Jurnal Universitas Muhammadiyah Jakarta, 1, 1–5.

Park, S., Bong, Y.S., & Jeon, C.W. (2021). Characteristics of carbonate formation from concentrated seawater using CO_2 chemical absorption methodology. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18 (120), 1–14.

Plante, E.C.L., Simonetti, D. A., Wang, B., Al-Turki, A., Chen, X., Jassby, D., & Sant, G.N. (2021). Saline water-based mineralization pathway for gigatonne- scale CO_2 management. Sustainable Chemistry Engineering, 9, 1073–1089.

Pujiastuti, C., Ngatilah, Y., Sumada, K., & Muljani, S. (2017). The effectiveness of sodium hydroxide (NaOH) and sodium carbonate (Na_2CO_3) on the impurities removal of saturated salt solution. Journal of Physics, 953, 1–5.

Prastuti, O.P. (2017). Pengaruh komposisi air laut dan pasir laut sebagai sumber listrik. Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, 1 (1), 35–41.

Rohma, A. W., Efendy, M., Amir, N., & Nuzula, N.I. (2021). Analisis kandungan kalsium (Ca) pada produksi garam maduris. Juvenil, 2(4), 271–276.

Shim, J.G., Lee, D.W., Lee, J.H., & Kwak, N.S. (2016). Experimental study on capture of carbon dioxide and production of sodium bicarbonate from sodium hydroxide. Environmental Engineering Research, 21(3), 297–303.

Yoo, Y., Bang, J.H., Lee, S.W., Song, K., & Chae, S. (2017). CO_2 mineralization using brine discharged from a seawater desalination plant. Minerals, 7(207), 1–12.

Zhang, J., Mani, R., & Kultanen, M.L. (2024). Process monitoring of cobalt carbonate precipitation by reaction between cobalt sulfate and sodium carbonate solutions to control product morphology and purity. Hydrometallurgy, 224, 1 – 11.