



Submitted : 11 April 2025

Revised : 25 May 2025

Accepted : 13 June 2025

PENENTUAN KONDISI TERBAIK PENYISIHAN ION Ca^{2+} DAN Mg^{2+} DARI AIR LAUT MENGGUNAKAN NATRIUM KARBONAT (Na_2CO_3) DAN AMONIUM HIDROKSIDA (NH_4OH)

Dilla Septianingsih, Mei Fifa Zulianti, Retno Dewati, Sani Sani*

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

*Email: septianingsihdilla@gmail.com; sani.tk@upnjatim.ac.id

Abstrak

Air laut mengandung beragam ion logam, terutama ion kalsium (Ca^{2+}) dan magnesium (Mg^{2+}) yang menyebabkan masalah di berbagai industri, seperti pembentukan kerak pada peralatan industri dan pengolahan air minum. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi terbaik dalam penghilangan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} menggunakan Na_2CO_3 sebagai agen pengikat kalsium dan magnesium dan penambahan NH_4OH sebagai bahan pengikat magnesium pada tahap kedua. Proses penghilangan dilakukan melalui reaksi pengendapan dengan variasi konsentrasi Na_2CO_3 yaitu 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, dan 0,5 M, serta suhu operasi 30, 45, 60, 75, dan 90 °C. Waktu pengadukan ditetapkan selama 5 menit, diikuti dengan pengendapan selama 1 jam. Konsentrasi NH_4OH ditetapkan pada 6,49 M berdasarkan hasil perhitungan stoikiometri. Kadar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} sebelum dilakukan perlakuan dan sesudah perlakuan dianalisis menggunakan metode titrasi kompleksometri dan *atomic absorption spectrometry* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi Na_2CO_3 dan suhu operasi berbanding lurus dengan persen penyisihan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Analisis statistik menggunakan ANOVA dua arah juga menunjukkan nilai $p < 0,05$. Kondisi terbaik didapatkan pada penambahan natrium karbonat pada konsentrasi 0,5 M dan suhu 90 °C, dengan persen penyisihan ion Ca^{2+} mencapai 97,85% dan ion Mg^{2+} sebesar 96,91%. Hasil penyisihan tersebut belum memenuhi standar SNI, karena kadar ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} didapatkan sebesar 180,351 mg/L dan 182,288 mg/L, sedangkan standar SNI pada air minum kadar Ca^{2+} sebesar 10 mg/L dan kadar Mg^{2+} sebesar 150 mg/L. Penelitian ini mendukung pengembangan pra-pengolahan air laut yang lebih efisien dengan menurunkan kadar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam industri air minum.

Kata Kunci: Air laut; Kalsium; Magnesium; Pengendapan; Persen penyisihan

Abstract

Seawater contains many metal ions, especially calcium (Ca^{2+}) and magnesium (Mg^{2+}) ions, which cause problems in various industries, such as scale formation on industrial equipment and drinking water treatment. This study aims to determine the best conditions for removing Ca^{2+} and Mg^{2+} ions using Na_2CO_3 as a calcium and magnesium binding agent and the addition of NH_4OH as a second-stage magnesium binding agent. The removal process is carried out through a precipitation reaction with variations in Na_2CO_3 concentration, namely 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, and 0.5 M, and operating temperatures of 30, 45, 60, 75, and 90 °C. The stirring time is set for 5 minutes, followed by precipitation for 1 hour. The concentration of NH_4OH is set at 6.49 M based on stoichiometric calculations. The levels of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions before and after treatment were analyzed using the complexometric titration method and atomic absorption spectrometry (AAS). The results showed that the increase in Na_2CO_3 concentration and operating temperature were directly proportional to the percentage removal of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions. Statistical analysis using two-way ANOVA also revealed a p -value < 0.05 . The best conditions were obtained by adding sodium carbonate at a concentration of 0.5 M and a temperature of 90 °C, with the percentage removal of Ca^{2+} ions reaching 97.85% and Mg^{2+} ions of 96.91%. The results of the ion removal did not meet the SNI standard, because the levels of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions were obtained at 180.351 mg/L and 182.288 mg/L, while the SNI standard for drinking water is Ca^{2+} levels of 10 mg/L and Mg^{2+} levels of 150 mg/L. This research supports the development of more efficient seawater pretreatment by reducing Ca^{2+} and Mg^{2+} ion levels in the drinking water industry.

Keywords: *Calcium; Magnesium; Percentage removal; Precipitation; Seawater*

1. PENDAHULUAN

Air laut pada wilayah Gresik, Manyar, Manyarejo terdiri atas 17,640 mg/L ion natrium (Na^{2+}), 5,75 mg/L ion kalium (K^+), 1,766 mg/L ion magnesium (Mg^{2+}), 286 mg/L ion kalsium (Ca^{2+}), 0,05 mg/L ion brom (Br^-), 0,51 mg/L ion amonia (NH_4^+); 1,58 mg/L ion flor (F^-), 27,200 mg/L ion klor (Cl^-), 3,63 mg/L ion iodin (I^-), 0,12 mg/L nitrit (NO_3^-), 5,167 mg/L ion sulfat (SO_4^{2-}), dan 0,03 mg/L ion fosfat (PO_4^{3-}) (Apriani et al., 2018). Ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} merupakan komponen utama penyebab kesadahan. Kesadahan yang tinggi sangat merugikan karena dapat mengakibatkan karat pada peralatan logam, meningkatkan konsumsi sabun karena sabun kurang berbusa, dan menimbulkan kerak di dalam tempat-tempat pengolahan (Santoso et al., 2020). Kesadahan air juga menurunkan kadar NaCl dalam produk garam (Marsidi, 2001).

Terdapat standar kandungan Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air. Salah satunya adalah standar kandungan Ca^{2+} maksimum yang dianjurkan pada air minum dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 01-0220-1987 tentang air minum, yaitu kadar kalsium sebesar 10 mg/L, sedangkan pada magnesium sebesar 150 mg/L. Menurut SNI nomor 7268:2009 tentang air umpan boiler/air industri yaitu kadar kesadahan maksimal sebesar 80 mg/L. Selain itu, menurut WHO Inter-Regional Water Study-Group mengatakan bahwa kadar yang dianjurkan agar tidak terlalu rendah atau terlalu tinggi sebesar 75-150 mg/L. Ion Mg^{2+} memiliki efek serupa dengan kesadahan air, seperti mengganggu proses industri dan menurunkan kualitas air. Namun, jika konsentrasinya melebihi 150 mg/L, ion ini dapat menimbulkan efek kesehatan seperti rasa mual pada manusia (Astuti, et al., 2016).

Penghilangan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dari air laut merupakan langkah penting dalam pengolahan air, terutama untuk mencegah pembentukan endapan yang dapat merugikan dalam berbagai aplikasi industri. Salah satu metode yang efektif untuk mencapai tujuan ini, yaitu melalui proses pengendapan menggunakan natrium karbonat (Na_2CO_3) sebagai bahan pengikat. Metode pengendapan ini mempunyai keunggulan dan keterbatasan, keunggulannya yaitu proses yang dilakukan mudah dan alat yang digunakan sederhana, sedangkan kekurangannya yaitu membutuhkan bahan kimia tambahan untuk mengikat impuritas (Martina et al., 2016). Metode pengendapan melibatkan reaksi kimia antara ion pengotor dalam air laut dengan reagen kimia yang ditambahkan. Beberapa reagen yang umum digunakan sebagai pengendap ion kalsium dan magnesium antara lain Na_2CO_3 , NaOH, KOH, dan $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Dalam penelitian ini, dipilih Na_2CO_3 karena mampu membentuk endapan CaCO_3 dan MgCO_3 yang tidak larut dalam air. Selain itu, Na_2CO_3 bersifat lebih stabil, tidak korosif, mudah diperoleh, lebih aman dalam penanganan, dan tidak menghasilkan limbah yang berbahaya, sehingga cocok digunakan dalam

proses pemurnian garam secara efisien dan ramah lingkungan. Studi mengenai pemanfaatan Na_2CO_3 sebagai reagen kimia pengikat ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} banyak ditemukan. Nilawati et al. (2016) menggunakan natrium karbonat 4 g/L sebagai larutan pengendap pada IKM garam beryodium dengan waktu pengadukan 5 menit menggunakan metode pengendapan menghasilkan hasil terbaik persen penyisihan ion Ca^{2+} mencapai 91,67% dan persen penyisihan ion Mg^{2+} mencapai 14%. Molinari et al. (2024) dalam studinya menyebutkan bahwa natrium karbonat sebagai pengendap sebanyak 2,36 M pada suhu 60 °C mampu menghilangkan ion Ca^{2+} mencapai 98% dan ion Mg^{2+} mencapai 25% pada larutan brine. Dahmani et al. (2018) dalam studinya mendapatkan hasil terbaik penyisihan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} secara total yang didapatkan dengan penambahan natrium karbonat 10 g/L dan KOH 3 g/L pada suhu 100 °C dengan kecepatan pengadukan 250 rpm selama 5 menit.

Penelitian Sorour et al. (2016) tentang penghilangan kalsium dan magnesium dari air Laut Merah dengan skema presipitasi yang dilakukan dengan 2 tahap perlakuan mendapatkan hasil terbaik persen penyisihan ion Ca^{2+} sebesar 96,6% dan persen penyisihan ion Mg^{2+} sebesar 99,6%. Hasil tersebut didapatkan dengan penambahan natrium karbonat 0,1 M pada perlakuan pertama dan penambahan natrium hidroksida 0,1 M pada perlakuan kedua. Dong et al. (2017) melakukan penelitian tentang keefektifan penghilangan ion magnesium dan kalsium dari brine dengan mendapatkan hasil terbaik persen penyisihan ion Mg^{2+} sekitar 93,5% dan persen penyisihan ion Ca^{2+} sekitar 71%, hasil tersebut didapatkan dengan penambahan NH_4OH sebanyak 16,96 mL.

Natrium karbonat adalah komponen yang umum digunakan untuk mengontrol kesadahan larutan garam. Diketahui bahwa penambahan garam karbonat akan menyebabkan pengendapan kalsium karbonat (CaCO_3) dan endapan kalsium karbonat akan mengendap pada dasar larutan garam (Rima, 2019). Pada penelitian ini, ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air laut dihilangkan melalui dua tahap perlakuan kimia menggunakan reagen pengendap, yaitu natrium karbonat pada tahap pertama dan amonium hidroksida pada tahap kedua. Tahap pertama bertujuan untuk mengendapkan sebagian besar ion Ca^{2+} dan sebagian ion Mg^{2+} dalam bentuk karbonat, sementara tahap kedua ditujukan secara spesifik untuk mengendapkan sisa ion Mg^{2+} sebagai magnesium hidroksida [$\text{Mg}(\text{OH})_2$]. Penelitian ini bertujuan mengkaji dan mengevaluasi pengaruh penggunaan dua jenis reagen tersebut terhadap efisiensi penurunan kadar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air laut.

Dibandingkan dengan metode pemurnian lain seperti *reverse osmosis* (RO), nanofiltrasi, adsorpsi menggunakan zeolit, atau resin penukar ion, metode pengendapan kimia yang digunakan dalam penelitian

ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu biaya operasional lebih rendah, reagen mudah diperoleh dan aman digunakan dalam skala besar, serta proses dapat dilakukan tanpa peralatan bertekanan tinggi. Sebagai contoh, teknologi membran memerlukan energi dan pemeliharaan tinggi serta menghasilkan limbah brine, sedangkan adsorpsi memiliki keterbatasan kapasitas dan memerlukan regenerasi. Di sisi lain, metode pengendapan dengan Na_2CO_3 dan NH_4OH selektif terhadap ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} , serta efektif sebagai tahap praperlakuan sebelum proses lanjutan seperti RO atau desalinasi.

Amonium hidroksida (NH_4OH) sendiri relatif jarang dibahas dalam konteks pemurnian air laut dibandingkan reagen lainnya, namun memiliki potensi tinggi dalam mengendapkan Mg^{2+} secara selektif pada kondisi pH tinggi. Penelitian terdahulu lebih banyak menggunakan reagen seperti natrium hidroksida (NaOH) atau kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) untuk pengendapan magnesium, namun pendekatan ini memiliki kelemahan berupa pencemaran residu ion kalsium tambahan dan kontrol pH yang lebih kompleks. Dalam penelitian ini, penggunaan NH_4OH memberikan kelebihan berupa pH yang cukup tinggi untuk mengendapkan Mg^{2+} tanpa menambahkan logam lain, serta volatilitas NH_4OH memungkinkan pengendapan yang lebih bersih setelah reaksi berlangsung.

Pembaruan dari penelitian ini terletak pada kombinasi dua tahap reagen sederhana (Na_2CO_3 dan NH_4OH) dalam satu sistem pemurnian air laut, yang jarang dibahas secara terpadu dalam literatur sebelumnya. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus hanya pada satu tahap pengendapan atau menggunakan metode yang lebih kompleks dan mahal seperti membran atau resin. Penelitian ini juga menyajikan optimalisasi kondisi operasi (konsentrasi dan suhu) secara sistematis untuk menghasilkan efisiensi maksimum penghilangan Ca^{2+} dan Mg^{2+} , yang relevan untuk skala industri dan pengolahan awal air laut.

Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan air laut yang lebih sederhana, ekonomis, dan efektif, terutama untuk aplikasi praperlakuan air industri, sebelum digunakan dalam proses yang lebih sensitif seperti desalinasi atau produksi air ultra murni.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah air laut yang diambil dari tepi tambak garam di Desa Sukomulyo, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur pada jarak sejauh ± 50 cm dengan kandungan kalsium klorida (CaCl_2) 8.400 mg/L dan magnesium klorida (MgCl_2) 5.900 mg/L. Bahan pendukung lainnya yaitu Na_2CO_3 (*for analysis*), NH_4OH (25%) (*for analysis*) dan larutan buffer pH 10 (*for analysis*) yang didapatkan dari CV Chemical Indonesia Multi Sentosa.

2.2 Prosedur Kerja

Penelitian dilakukan di Laboratorium Material Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, UPN

“Veteran” Jawa Timur, Surabaya. Tahapan penelitian dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu tahap persiapan bahan baku, pengadukan dan pengendapan, filtrasi, analisis, serta-perlakuan kedua ion Mg^{2+} .

2.2.1 Tahap persiapan bahan baku

Pada tahap persiapan bahan baku, air laut disaring dengan kertas saring, kemudian filtrat dianalisis kadar CaCl_2 dan MgCl_2 dengan *atomic absorption spectrometry* (AAS) karena mampu memberikan data akurat dan rinci tentang kadar logam dalam bahan baku. Selanjutnya dilakukan analisis kadar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dengan titrasi kompleksometri untuk mengevaluasi keberhasilan proses penghilangan ion tersebut, dengan metode yang lebih ekonomis dan praktis.

2.2.2 Tahap perlakuan pertama ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}

Pada perlakuan pertama, air laut ditambahkan bahan pengikat berupa Na_2CO_3 dengan konsentrasi (0,1, 0,2, 0,3, 0,4, dan 0,5 M) dengan variasi suhu pemanasan (30, 45, 60, 75, dan 90 °C). Kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm selama 5 menit. Hal ini dikarenakan pada kecepatan 250 rpm ideal untuk mencapai keseimbangan antara kecepatan pencampuran dan meminimalisir terhadap pembentukan flok dalam sistem pengolahan air (Dahmani et al., 2018). Larutan yang sudah bercampur, kemudian dilakukan proses pengendapan dengan cara dibiarkan selama 1 jam hingga terpisah menjadi 2 lapisan (filtrat dan endapan). Kemudian dilakukan filtrasi menggunakan kertas saring untuk memisahkan antara filtrat dan endapan. Filtrat yang dihasilkan akan dianalisis kadar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} untuk mengetahui penurunan kadarnya.

2.2.3 Tahap perlakuan kedua ion Mg^{2+}

Tahap ini merupakan proses pengikatan ion magnesium yang tidak ikut terendap oleh Na_2CO_3 yang akan ditambahkan dengan amonium hidroksida (Dong et al., 2017). Amonium hidroksida 25% sebanyak 2,92 mL ditambahkan ke dalam filtrat dengan variasi suhu pemanasan 30, 45, 60, 75, dan 90 °C (Molinari et al., 2024). Kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 250 rpm selama 5 menit (Dahmani et al., 2018). Larutan kemudian diendapkan dengan cara dibiarkan selama 1 jam hingga terpisah menjadi 2 lapisan (filtrat dan endapan). Hal ini dikarenakan semakin lama proses pengendapan maka endapan yang dihasilkan semakin banyak, sehingga memudahkan dalam proses filtrasi (Wang et al., 2020). Kemudian dilakukan filtrasi menggunakan kertas saring untuk memisahkan antara filtrat dan endapan. Filtrat yang dihasilkan akan dianalisis kadar ion Mg^{2+} untuk mengetahui penurunan kadarnya setelah dua kali perlakuan.

2.3 Analisis Kadar

Tahap analisis kadar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dilakukan dengan dua tahapan, yaitu analisis kadar bahan baku dan analisis kadar setelah perlakuan.

2.3.1 Analisis kadar bahan baku

Analisis kadar pada bahan baku dilakukan di Laboratorium Gizi FKM Universitas Airlangga menggunakan *atomic absorption spectrometry* (AAS). Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kadar awal ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada bahan baku air laut yang digunakan.

2.3.2 Analisis kadar ion setelah perlakuan

Filtrat hasil dari perlakuan pertama dan kedua dianalisis menggunakan titrasi kompleksometri di Laboratorium Material Maju UPN “Veteran” Jawa Timur. Titrasi kompleksometri melibatkan reaksi pembentukan senyawa kompleks antara kation dan zat pembentuk kompleks. Prosedur analisis dengan titrasi kompleksometri adalah sebagai berikut:

1) Standarisasi EDTA

Kalsium karbonat sebanyak 10 mg dilarutkan dengan HCl 0,1 N, kemudian ditambahkan 100 mL aquades. Larutan ditambahkan 5 mL larutan penyangga pH 10 dan 30 mg (seujung spatula) indikator EBT (Eriochrom Black T). Selanjutnya larutan dititrasi dengan EDTA 0,1 M sampai terjadi perubahan warna dari merah keunguan menjadi biru.

2) Penentuan kesadahan Ca^{2+} dan Mg^{2+}

Sampel sebanyak 10 mL diukur pHnya dengan kertas pH. Apabila pH larutan sampel kurang dari 10 maka ditambahkan larutan buffer hingga pH larutan sampel mencapai 10. Pengukuran pH larutan hanya dilakukan di awal sebelum penambahan indikator EBT hal ini dikarenakan dalam penentuan kesadahan ion Ca^{2+} menggunakan indikator EBT dapat bereaksi pada pH 10. Selanjutnya, larutan sampel ditambahkan indikator EBT dan dititrasi dengan larutan standar EDTA 0,1 M secara perlahan sampai terjadi perubahan warna merah keunguan menjadi biru. Rumus yang digunakan untuk menghitung kesadahan total (ppm) adalah sebagai berikut:

$$\text{Kesadahan} = \frac{1000}{V} \times V_{EDTA(a)} \times M_{EDTA} \times BM_{CaCO_3} \quad (1)$$

Dengan V adalah volume yang dititrasi (mL), $V_{EDTA(a)}$ adalah volume EDTA (mL), M_{EDTA} adalah molaritas EDTA (M), dan BM_{CaCO_3} adalah berat molekul $CaCO_3$ (g/mol).

3) Penentuan Kadar Ca^{2+} perlakuan pertama

Sampel sebanyak 10 mL ditambahkan 5 mL larutan NaOH 1 N hingga mencapai pH 12 dan ditambahkan indikator murexide, kemudian dititrasi dengan larutan standar EDTA 0,1 M hingga terjadi perubahan warna merah muda menjadi ungu. Formula untuk menghitung kadar Ca^{2+} setelah perlakuan pertama adalah sebagai berikut:

$$\text{Kadar } Ca^{2+} = \frac{1000}{V} \times V_{EDTA(b)} \times M_{EDTA} \times BM_{Ca} \quad (2)$$

Dengan V adalah volume yang dititrasi (mL), $V_{EDTA(b)}$ adalah volume EDTA (mL), M_{EDTA} adalah molaritas EDTA (M), dan BM_{Ca} adalah berat molekul Ca (g/mol).

4) Penentuan Kadar Mg^{2+} perlakuan pertama

Penentuan kadar Mg dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kadar } Mg^{2+} = \frac{1000}{V} \times [V_{EDTA(a)} - V_{EDTA(b)}] \times \frac{M_{EDTA} \times BM_{Mg}}{V} \quad (3)$$

Dengan V adalah volume yang dititrasi (mL), $V_{EDTA(a)}$ adalah volume EDTA (mL), $V_{EDTA(b)}$ adalah volume EDTA (mL), M_{EDTA} adalah molaritas EDTA (M), dan BM_{Mg} adalah berat molekul Mg (g/mol).

5) Penentuan Kadar Mg^{2+} perlakuan kedua

Penentuan kadar Mg^{2+} dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Kadar } Mg^{2+} = \frac{1000}{V} \times V_{EDTA} \times M_{EDTA} \times BM_{Mg} \quad (4)$$

Dengan V adalah volume yang dititrasi (mL), V_{EDTA} adalah volume EDTA (mL), M_{EDTA} adalah molaritas EDTA (M), dan BM_{Mg} adalah berat molekul Mg (g/mol).

2.3.3 Perhitungan persen penyisihan (%)

Perhitungan persen penyisihan (%) untuk menentukan efisiensi penurunan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

Persen penyisihan ion Ca :

$$Ca^{2+} (\%) = \left(\frac{Ca_{awal} - Ca_{akhir}}{Ca_{awal}} \right) \times 100\% \quad (5)$$

Dengan Ca awal adalah kadar ion kalsium awal dan Ca akhir adalah kadar ion kalsium akhir.

Persen penyisihan ion Mg :

$$Mg^{2+} (\%) = \left(\frac{Mg_{awal} - Mg_{akhir}}{Mg_{awal}} \right) \times 100\% \quad (6)$$

Dengan Mg awal adalah kadar ion magnesium awal dan Mg akhir adalah kadar ion magnesium akhir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis awal bahan baku dilakukan untuk mengidentifikasi kadar $CaCl_2$, $MgCl_2$, Ca^{2+} , dan Mg^{2+} pada air laut dengan uji *atomic absorption spectrometry* (AAS) dan uji titrasi kompleksometri disajikan pada Tabel 1.

Analisis	Komponen	Kadar (mg/L)
Atomic Absorption Spectrometry (AAS)	$CaCl_2$	8.400
	$MgCl_2$	5.900
Titrasi	Ca^{2+}	8.416,38
Kompleksometri	Mg^{2+}	5.906,115

Dari Tabel 1 diketahui kadar $CaCl_2$ sebesar 8.400 mg/L dan kadar $MgCl_2$ sebesar 5.900 mg/L. Pada hasil analisis titrasi kompleksometri yang didapatkan kadar ion Ca^{2+} sebesar 8.416,38 mg/L dan kadar ion Mg^{2+} sebesar 5.906,115 mg/L. Hasil pengujian bahan baku tersebut tidak sepenuhnya sesuai dengan data teoritis yang dilaporkan oleh Adriani (2020) yang menyatakan bahwa kandungan kadar ion kalsium dalam air laut sebesar 1% dan lebih tinggi kadar ion magnesium sebesar 4%. Namun, menurut penelitian Khodariya et al. (2021) kadar ion Ca^{2+} bisa lebih tinggi bisa dari ion

Mg²⁺ dan setiap air laut memiliki kadar yang berbeda-beda, salah satunya karena air laut berada dekat dengan pelabuhan industri, yang kemungkinan limbah bahan bakar kapal pengangkutan tersebut mengalir atau bocor pada sekitar air laut yang mengakibatkan tingginya kadar kalsium. Hasil uji menunjukkan bahwa air laut di bagian pinggir sejauh 50 cm dari tambak garam Desa Sukomulyo, Kecamatan Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur memiliki kadar ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ yang tinggi, sehingga perlu dilakukan penyisihan. Tingginya kadar ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ dapat menyebabkan masalah di berbagai industri, seperti pembentukan kerak pada peralatan industri dan pengolahan air minum.

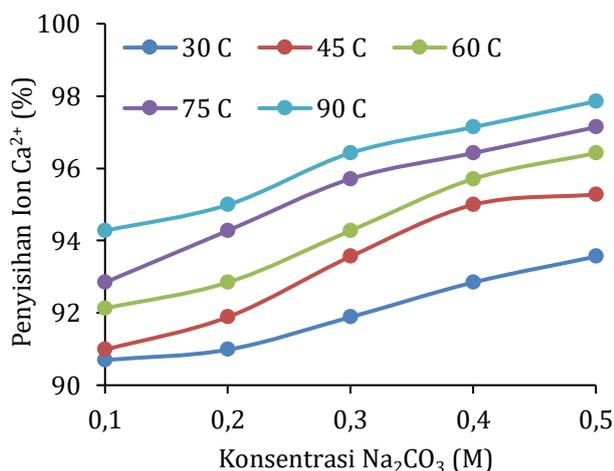
3.1 Uji Kadar Ion Ca²⁺

Pada Gambar 1 terlihat bahwa persentase penyisihan ion Ca²⁺ mengalami kenaikan seiring bertambahnya konsentrasi Na₂CO₃ dan mengalami kenaikan seiring bertambahnya suhu operasi yang digunakan. Semakin bertambahnya konsentrasi, maka kemampuan natrium karbonat dalam mengikat ion kalsium menjadi endapan CaCO₃ juga meningkat (Nilawati et al., 2016). Sedangkan peningkatan suhu mempercepat gerakan ion Ca²⁺ dan Na₂CO₃, ketika frekuensi benturan ini meningkat akan terjadi reaksi antara ion Ca²⁺ dengan Na₂CO₃ yang menghasilkan pembentukan endapan CaCO₃ (Molinari et al., 2024).

Reaksi yang terjadi:



Reaksi pertama terjadi ketika ion kalsium (Ca²⁺) dari kalsium klorida (CaCl₂) bereaksi dengan natrium karbonat (Na₂CO₃), menghasilkan endapan karbonat kalsium (CaCO₃) dan natrium klorida (NaCl) yang terlarut.



Gambar 1. Pengaruh penambahan konsentrasi Na₂CO₃ terhadap penyisihan ion Ca²⁺

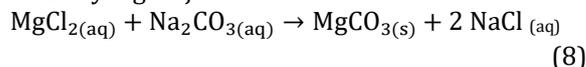
Persen penyisihan ion Ca²⁺ terendah yaitu 90,11% yang didapatkan pada konsentrasi natrium karbonat (Na₂CO₃) 0,1 M dan suhu operasi 30°C dengan kadar ion Ca²⁺ yang didapat sebesar 781,521 mg/L. Sedangkan, persen penyisihan ion Ca²⁺ tertinggi yaitu sebesar 97,85% yang didapatkan pada konsentrasi natrium karbonat (Na₂CO₃) 0,5 M dan suhu operasi 90°C dengan

kadar ion Ca²⁺ yang didapat sebesar 180,351 mg/L. Tingkat efisiensi penyisihan ion Ca²⁺ yang diperoleh lebih rendah dibandingkan hasil Molinari et al. (2024). Pada penelitiannya didapatkan persen penyisihan ion Ca sebesar 98%. Hal ini dikarenakan bahan baku yang digunakan berbeda, yaitu brine. Berdasarkan data yang diperoleh, kadar ion Ca²⁺ yang didapatkan belum memenuhi SNI 01-0220-1987 tentang air minum yaitu sebesar 10 mg/L.

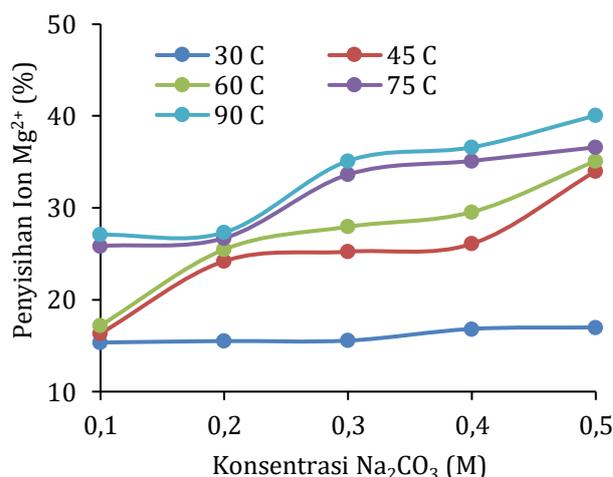
3.2 Uji Kadar Mg²⁺ pada Perlakuan Pertama

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa pada konsentrasi natrium karbonat 0,5 M, persen penyisihan ion Mg²⁺ masih sangat kecil. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi tersebut, MgCl₂ belum habis bereaksi dengan presipitat natrium karbonat, sehingga masih terdapat sisa ion Mg²⁺ dalam larutan yang menyebabkan interaksi antara Na₂CO₃ dan ion Mg²⁺ masih terbatas. Persentase penyisihan ion Mg²⁺ mengalami kenaikan seiring bertambahnya konsentrasi Na₂CO₃ dan mengalami kenaikan seiring bertambahnya suhu operasi yang digunakan. Besarnya konsentrasi bahan pengikat impuritas mempengaruhi banyaknya impuritas yang terendapkan. Semakin besar konsentrasi, maka semakin besar impuritas yang terikat (Nilawati et al., 2016). Sedangkan peningkatan suhu mempercepat gerakan ion Mg²⁺ dan Na₂CO₃, sehingga menimbulkan terjadinya reaksi antara natrium karbonat dan magnesium klorida yang menimbulkan terbentuknya endapan magnesium MgCO₃ (Molinari et al., 2024).

Reaksi yang terjadi:



Reaksi kedua melibatkan ion Mg²⁺ dari MgCl₂ yang juga bereaksi dengan Na₂CO₃, menghasilkan endapan magnesium karbonat (MgCO₃) dan natrium klorida (NaCl).



Gambar 2. Pengaruh penambahan konsentrasi Na₂CO₃ terhadap penyisihan ion Mg²⁺ pada perlakuan pertama

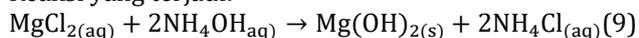
Persen penyisihan ion Mg²⁺ pada perlakuan pertama terendah, yaitu 15,34% yang didapatkan pada konsentrasi natrium karbonat 0,1 M dan suhu operasi

30 °C dengan kadar ion Mg^{2+} yang masih belum terendapkan sebesar 4.994,678 mg/L. Sedangkan, persen penyisihan ion Mg^{2+} pada perlakuan pertama tertinggi, yaitu sebesar 40,06% yang didapatkan pada konsentrasi Na_2CO_3 0,5 M dan suhu operasi 90 °C dengan kadar ion Mg^{2+} yang masih belum terendapkan sebesar 3.536,378 mg/L. Berdasarkan data yang diperoleh, kadar ion Mg^{2+} yang didapatkan masih sangat tinggi. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan kedua untuk menghilangkan kadar ion Mg^{2+} pada air laut. Menurut Molinari et al. (2024), pengendapan $MgCO_3$ terjadi dalam jumlah yang lebih kecil dibandingkan dengan $CaCO_3$ karena kelarutan $MgCO_3$ yang lebih tinggi, sehingga tidak semua ion Mg^{2+} akan terendapkan. Proses ini memerlukan kondisi tertentu untuk meningkatkan efisiensi pengendapan seperti penambahan presipitat NH_4OH yang merupakan larutan basa.

3.3 Uji Kadar Mg^{2+} Setelah Perlakuan Kedua

Pada gambar 3 terbukti bahwa penambahan larutan amonium hidroksida (NH_4OH) sebagai treatment kedua berpengaruh terhadap kenaikan persen penyisihan ion Mg^{2+} pada air laut. Penambahan larutan NH_4OH sebanyak 2,92 mL pada setiap variabel terus menaikkan persen penyisihan secara signifikan. Penerapan dua tahap penghilangan Mg^{2+} dapat meningkatkan persen penyisihan ion Mg^{2+} secara efektif. Menurut Cahyaninggalih et al. (2018), peningkatan pH akibat penambahan NH_4OH menyebabkan pengurangan kelarutan $Mg(OH)_2$, sehingga lebih banyak ion magnesium terperangkap dan membentuk endapan.

Reaksi yang terjadi:

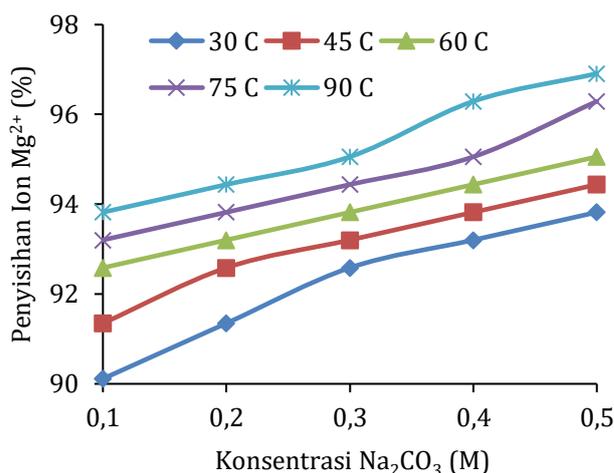


Pada perlakuan kedua, ketika $MgCl_2$ dicampurkan dengan NH_4OH , ion hidroksida (OH^-) dari NH_4OH bereaksi dengan ion Mg^{2+} dalam larutan, membentuk endapan magnesium hidroksida ($Mg(OH)_2$).

Persen penyisihan ion Mg^{2+} setelah perlakuan kedua yang terendah, yaitu 90,11% yang didapatkan pada konsentrasi Na_2CO_3 0,1 M dan suhu operasi 30 °C dengan kadar ion Mg^{2+} yang didapatkan sebesar 583,320 mg/L. Sedangkan, persen penyisihan ion Mg^{2+} setelah perlakuan kedua yang tertinggi, yaitu sebesar 97,85% didapatkan pada konsentrasi Na_2CO_3 0,5 M dan suhu operasi 90 °C dengan kadar ion Mg^{2+} yang didapatkan sebesar 182,288 mg/L. Hasil persen penyisihan yang didapatkan lebih rendah dari penelitian Sorour et al. pada tahun 2016 yang pada penelitiannya didapatkan persen penyisihan ion Mg dengan dua kali perlakuan sebesar 99,6%. Hal ini dikarenakan bahan yang digunakan sebagai perlakuan kedua berbeda, yaitu NaOH. Dari data yang diperoleh, kadar ion Mg^{2+} yang didapatkan belum memenuhi SNI 01-0220-1987 tentang air minum yaitu sebesar 150 mg/L. Sehingga diperlukan pengolahan lanjutan seperti pertukaran ion, *reverse osmosis*, nanofiltrasi, atau dengan presipitasi kimia lanjutan agar air laut tersebut dapat digunakan sebagai air minum.

Penggunaan Na_2CO_3 dan NH_4OH untuk menghilangkan ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} memang efektif

dalam skala industri, karena reagen mudah diperoleh dan aman digunakan dalam skala besar, proses dapat dilakukan tanpa peralatan bertekanan tinggi, serta biaya operasional lebih rendah dibandingkan menggunakan metode lain seperti *reverse osmosis*, penukar ion, atau teknologi membran. Akan tetapi, hasil reaksi menggunakan bahan pengikat Na_2CO_3 dan NH_4OH menghasilkan endapan $CaCO_3$, $MgCO_3$, dan $Mg(OH)_2$ yang merupakan bahan kimia berbahaya jika langsung dibuang ke lingkungan. Sehingga diperlukan pengolahan khusus atau dimanfaatkan sebagai bahan baku industri, sehingga mengurangi limbah dan menambah nilai ekonomi.



Gambar 3. Pengaruh penambahan larutan amonium hidroksida (NH_4OH) terhadap penyisihan ion Mg^{2+} pada perlakuan kedua

4. KESIMPULAN

Penambahan natrium karbonat efektif dalam mengurangi kadar ion kalsium (Ca^{2+}), namun kurang efektif dalam menurunkan kadar ion magnesium (Mg^{2+}). Sebaliknya, penambahan amonium hidroksida (NH_4OH) terbukti lebih efektif dalam mengurangi kadar ion magnesium (Mg^{2+}). Didapatkan hasil penyisihan tertinggi ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} pada konsentrasi natrium karbonat (Na_2CO_3) sebesar 0,5 M dengan suhu operasi 90 °C. Pada kondisi tersebut persen penyisihan ion Ca^{2+} yang didapatkan sebesar 180,351 mg/L. Sedangkan persen penyisihan ion Mg^{2+} yang didapatkan sebesar 96,91% dengan kadar ion Mg^{2+} yang tersisa sebesar 182,288 mg/L. Hasil penelitian ini mendukung pengembangan teknologi praperlakuan air laut yang lebih efisien dengan menurunkan kadar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} , khususnya dalam aplikasi industri. Disarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan bahan pengikat lain untuk mengikat ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} seperti *ethylene glycol tetraacetic acid* (EGTA), *diethylene triaminepenta acetic acid* (DTPA), dan *hydroxyethylidene diphosphoric acid* (HEDTA). Disarankan untuk melakukan perlakuan lanjutan untuk menyisihkan ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} secara sepenuhnya dalam air laut seperti pertukaran ion, *reverse osmosis*, nanofiltrasi, atau dengan presipitasi kimia lanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adriani, A. (2020). Pemanfaatan air laut sebagai sumber cadangan energi listrik. *Vertex Elektro*, 12(2), 22-33.
- Apriani, M., Hadi, W., & Masduqi, A. (2018). Physicochemical properties of sea water and bittern in Indonesia: Quality improvement and potential resources utilization for marine environmental sustainability. *Journal of ecological Engineering*, 19(3), 1-10.
- Astuti, D. W., Fatimah, S., & Anie, S. (2016). Analisis kadar kesadahan total pada air sumur di Padukuhan Bandung Playen Gunung Kidul Yogyakarta. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, 1(1), 69-73.
- Cahyaninggalih, A. K., Setiawan, A., & Mayangsari, N. E. (2018, December). Recovery amonium hidroksida (NH₄OH) dari limbah regenerasi mengandung (NH₄)₂SO₄ dengan menggunakan distilasi vakum. In *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology* (Vol. 1, No. 1, pp. 177-182).
- Dahmani, K., Belloul, M., & Kherroub, D. E. (2018). Investigating pretreatment of seawater using precipitation agents to reduce scale formation in distillers, pp. 201–208.
- Dong, H., Unluer, C., Yang, E. H., & Al-Tabbaa, A. (2017). Synthesis of reactive MgO from reject brine via the addition of NH₄OH. *Hydrometallurgy*, 169, 165-172.
- Khodariya, N., Efendy, M., Amir, N., & Nuzula, N. I. (2021). Analisa kadar magnesium (Mg) pada air bahan baku garam di PT Garam Persero Pamekasan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan dan Perikanan*, 2(4), 277-281.
- Molinari, R., Avci, A. H., Curcio, E., Domene, D. S., Villa González, C., Gallart, J. J. E., & Argurio, P. (2024). Selective calcium removal at near-ambient temperature in a multimineral recovery process from seawater reverse osmosis synthetic brine and ex ante life cycle assessment. *Water*, 16(5), 667.
- Marsidi, R. (2001). Zeolit untuk mengurangi kesadahan air. *Jurnal Teknologi Lingkungan BPPT*, 2(1), 157417.
- Martina, A., Witono, J. R., & Pamungkas, G. K. (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.
- Nilawati, N., Marihati, M., & Muyati, M. (2016). Pemisahan NaCl dari limbah padat IKM garam beryodium untuk industri penyamakan kulit dan pengolahan air industri. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 27(2), 119-124.
- Rima, J. (2019). Natrium karbonat: Termodinamika dan transport ion. *Jurnal FMIPA UNP*, 6(2), 32.
- Santoso, G., Wisnubroto, P., & Hani, S. (2020). Pengolahan air bersih guna menurunkan kadar kapur (kesadahan) menggunakan tenaga surya (solar cell) untuk mengurangi resiko terkena batu ginjal pada masyarakat Desa Sumberwungu. *Jurnal Gaung Informatika*, 13(1).
- Sorour, M. H., Hani, H. A., & Shaalan, H. F. (2016). Separation of calcium and magnesium using dual precipitation/chelation scheme from saline solutions. *Desalination and Water Treatment*, 57(48-49), 22818-22823.
- Wang, Y., Qin, Y., Wang, B., Jin, J., Wang, B., & Cui, D. (2020). Selective removal of calcium ions from seawater or desalination brine using a modified sodium carbonate method. *Desalination and Water Treatment*, 174, 123-135.