

Optimasi Magnesium Silikat Berbahan Bittern dan Sodium Silikat

Atha Mardhi Maulana, Syaiba Qurrotul Aini*, Ni Ketut Sari

Jurusan Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: syaibaqurrotul86@gmail.com

Diterima: 21 April 2025

Disetujui: 02 Mei 2025

Abstract

Magnesium silicate (MgSiO_3) is an inorganic compound formed from the reaction between magnesium and silicate. This study is all about making the process of forming magnesium silicate from bittern using the precipitation method as good as it can be. Bittern is a liquid waste from the salt industry that is rich in magnesium ions. In this study, we lovingly crafted magnesium hydroxide ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) by bringing bittern together with sodium hydroxide (NaOH), and then gently continuing to react with sodium silicate (Na_2SiO_3) to form magnesium silicate (MgSiO_3). There are some differences in the molar ratio between $\text{NaOH}:\text{MgCl}_2$ and $\text{Mg}(\text{OH})_2$: We used Na_2SiO_3 to figure out the best conditions for making the product. I'm so excited to share the results of the analysis with you! We found that the highest yield of 69,969% was obtained at a mole ratio of $\text{NaOH}:\text{MgCl}_2 = 1:2$ and $\text{Mg}(\text{OH})_2:\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1:1$. We used X-Ray Fluorescence (XRF) to figure out the best mix of magnesium silicate, and it turned out to be a beautiful balance of 17% MgO and 71% SiO_2 . This study is great news because it shows that adjusting the amount of reactant you use can make a big difference in how well magnesium silicate is produced. This opens up a lot of opportunities for using it in different industries.

Keywords: *magnesium silicate, bittern, precipitation, optimization, xrf*

Abstrak

Magnesium silikat (MgSiO_3) merupakan senyawa anorganik yang terbentuk dari reaksi antara magnesium dan silikat. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses pembentukan magnesium silikat dari bittern menggunakan metode presipitasi. Bittern merupakan limbah cair dari industri garam yang kaya akan ion magnesium. Pada penelitian ini, magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) diperoleh dengan mereaksikan bittern dengan natrium hidroksida (NaOH), kemudian direaksikan lebih lanjut dengan natrium silikat (Na_2SiO_3) untuk membentuk magnesium silikat (MgSiO_3). Variasi rasio molar antara $\text{NaOH}:\text{MgCl}_2$ dan $\text{Mg}(\text{OH})_2:\text{Na}_2\text{SiO}_3$ digunakan untuk menentukan kondisi optimum dalam pembentukan produk. Hasil analisis menunjukkan bahwa yield tertinggi sebesar 69,969% diperoleh pada rasio mol $\text{NaOH}:\text{MgCl}_2 = 1:2$ dan $\text{Mg}(\text{OH})_2:\text{Na}_2\text{SiO}_3 = 1:1$. Karakterisasi menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF) menunjukkan bahwa komposisi optimal magnesium silikat yang dihasilkan mengandung 17% MgO dan 71% SiO_2 . Penelitian ini menegaskan bahwa optimasi rasio molar reaktan berperan penting dalam efisiensi produksi magnesium silikat, serta membuka peluang pemanfaatannya dalam berbagai aplikasi industri.

Kata Kunci: *magnesium silikat, bittern, presipitasi, optimasi, xrf*

1. Pendahuluan

Indonesia dikenal sebagai negara maritim dengan luas laut mencapai 5,80 juta km^2 , terdiri dari perairan teritorial, perairan pedalaman, dan Zona Ekonomi Eksklusif. Dengan lebih dari 17.500 pulau dan garis pantai sepanjang 99,09 km, Indonesia memiliki kekayaan sumber daya laut yang melimpah [1]. Salah satu potensi laut yang belum dimanfaatkan sepenuhnya di Indonesia adalah penggunaan air tua (bittern) sebagai produk sampingan dari produksi garam. Bittern merupakan air sisa garam yang diperoleh dari proses kristalisasi yang berupa cairan pekat. Bittern terdiri dari beberapa ion diantaranya magnesium (Mg^{2+}), kalium (K^+), natrium (Na^+), klorida (Cl^-) dan kalsium (Ca^+) [2]. Ion utama pada bittern yang banyak digunakan untuk industri yaitu magnesium [3]. Bittern yang mengandung ion magnesium tinggi berfungsi sebagai pembuatan turunan magnesium seperti magnesium oksida (MgO), magnesium sulfat (MgSO_4), magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) dan magnesium silikat (MgSiO_2) [4].

Terdapat berbagai macam pemanfaatan magnesium silikat, bahan baku ini dapat digunakan untuk bahan baku dalam industri keramik, besi dan baja, elektrokimia, metalurgi, konstruksi, radiokimia dan elektronik [5]. Magnesium silikat terbentuk melalui reaksi antara sodium silikat dan garam magnesium hidroksida yang berasal dari bittern. Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam proses pembuatan magnesium silikat yaitu metode presipitasi, metode sol-gel, dan metode padatan. Pada penelitian ini metode

yang digunakan yaitu metode presipitasi. Metode presipitasi merupakan metode pembentukan endapan yang menghasilkan reaksi. Senyawa pereaksi yang digunakan dalam proses pengendapan ini adalah NaOH [6]. Adapun factor yang dapat mempengaruhi proses presipitasi dalam penelitian ini adalah konsentrasi pelarut di mana semakin besar konsentrasi zat reaktan yang digunakan menyebabkan terjadinya tumbukan yang efektif sehingga menimbulkan laju reaksi yang semakin cepat [7]. Selain itu, suhu dan penyaringan atau pretreatment sebelum proses presipitasi juga menjadi factor, di mana dengan proses pretreatment dapat menghilangkan pengotor dan mengurangi kandungan garam berlebih yang dapat mengganggu pemanfaatan mineral lain di dalam bittern [8]. Pada penelitian ini variabel utama yang digunakan yaitu perbandingan konsentrasi mol NaOH : MgCl₂ (Bittern) dan perbandingan konsentrasi mol Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃. Oleh karena itu, pada penelitian ini diharapkan produk optimal terjadi saat perbandingan mol NaOH : MgCl₂ dan mol Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ setara karena tidak ada bahan sisa dari reaksi kimia.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium dengan tujuan untuk mencapai kondisi optimum saat perbandingan mol antara NaOH : MgCl₂ dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ dalam keadaan seimbang, agar seluruh reaktan bereaksi sempurna. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Riset Material Maju Teknik Kimia UPN “Veteran” Jawa timur.

Pada penelitian ini alat yang digunakan yaitu Magnetic Stirrer, Beaker Glass (1000 ml), Erlenmeyer (250 ml), Corong kaca (75 ml), Labu ukur (250 ml), Spatula, Pipet tetes, Oven dan Furnace. Bahan yang digunakan yaitu Bittern (Petani garam Desa Randutatah, Kabupaten Probolinggo, Jawa timur), Sodium Silikat, Natrium Hidroksida dan Aquadest.

Pembuatan magnesium silikat, bittern sebagai sumber dari ion Mg²⁺ sebanyak 500 ml dianalisa terlebih dahulu menggunakan Analisa AAS untuk mengetahui kadar magnesium yang terkandung dalam bittern. Kemudian ditampung kedalam beaker glass sebanyak 500 ml dan direaksikan dengan penambahan NaOH dengan variasi konsentrasi (1:1,8 ; 1:2 ; 1:2,2; 1:2,4 ; 1: 2,6) sebagai pemisah kandungan Mg pada bittern dilakukan dengan pengadukan selama 60 menit pada suhu 80°C dengan kecepatan 250 rpm. Kemudian melakukan filtrasi menggunakan kertas saring agar dapat memisahkan endapan (Mg(OH)₂) dengan filtrat (2NaCl) pada campuran hasil reaksi. Kemudian Mg(OH)₂ yang terbentuk dari hasil reaksi dimasukkan kedalam beaker glass dan direaksikan dengan sodium silikat dengan variasi konsentrasi (1:0,8 ; 1:1 ; 1:1,2; 1:1,4 ; 1:1,6) sehingga membentuk endapan MgSiO₃.

Hal ini dilakukan pengadukan selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan 250 rpm. Selanjutnya campuran tersebut difiltrasi untuk memisahkan endapan (MgSiO₃) yang terbentuk terhadap filtrat (2NaOH) nya, endapan (MgSiO₃) yang diperoleh dikeringkan dengan furnace pada suhu 600°C. Hasil pengeringan kemudian dianalisa menggunakan X-Ray Fluoresence (XRF) yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta unsur-unsur yang terdapat dalam hasil produk.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini magnesium silikat diperoleh melalui proses reaksi kimia antara larutan natrium silikat dan bittern (air tua garam) yang telah di ekstrak magnesiumnya. Hasil pembentukan magnesium silikat dilampirkan sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Analisa Yield Pembentukan Magnesium Pada Produk

Perbandingan mol Mg:NaOH	Perbandingan mol Mg(OH) ₂ : Na ₂ SiO ₃	Massa Endapan MgSiO ₃ (gram)	Massa Mg Awal (gram)	Massa Mg Akhir (gram)	Yield Mg (%)
1: 1,8	1:0,8	71.56	33.4195	17.890	53.532
	1:1	74.54	33.4195	18.635	55.761
	1:1,2	72.43	33.4195	18.108	54.182
	1:1,4	71.98	33.4195	17.995	53.846
	1:1,6	70.87	33.4195	17.718	53.015
1:2	1:0,8	88.23	33.4195	22.059	66.005
	1:1	94.53	33.4195	23.633	70.322
	1:1,2	91.32	33.4195	22.830	68.314
	1:1,4	90.99	33.4195	22.747	68.064
	1:1,6	88.68	33.4195	22.169	66.335

Perbandingan mol Mg:NaOH	Perbandingan mol Mg(OH) ₂ : Na ₂ SiO ₃	Massa Endapan MgSiO ₃ (gram)	Massa Mg Awal (gram)	Massa Mg Akhir (gram)	Yield Mg (%)
1:2,2	1:0,8	85.23	33.4195	21.308	63.758
	1:1	90.43	33.4195	22.608	67.649
	1:1,2	89.89	33.4195	22.472	67.242
	1:1,4	90.43	33.4195	22.608	67.649
	1:1,6	88.43	33.4195	22.108	66.153
1:2,4	1:0,8	84.23	33.4195	21.058	63.010
	1:1	88.55	33.4195	22.139	66.244
	1:1,2	87.34	33.4195	21.836	65.338
	1:1,4	85.34	33.4195	21.336	63.841
	1:1,6	84.55	33.4195	21.139	63.252
1:2,6	1:0,8	75.12	33.4195	18.780	56.195
	1:1	79.23	33.4195	19.808	59.269
	1:1,2	78.32	33.4195	19.580	58.589
	1:1,4	78.01	33.4195	19.503	58.357
	1:1,6	77.87	33.4195	19.468	58.252

Berdasarkan **Tabel 1**, perbandingan mol antara Mg : NaOH dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ berpengaruh terhadap yield magnesium dalam produk magnesium silikat (MgSiO₃). Yield tertinggi, sebesar 70,716%, diperoleh pada perbandingan mol Mg : NaOH sebesar 1:2 dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ sebesar 1:1. Sebaliknya, yield terendah sebesar 53,532% terjadi pada perbandingan mol Mg : NaOH sebesar 1:1,8 dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ sebesar 1:0,8. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi menghasilkan endapan MgSiO₃ secara optimal ketika perbandingan mol reaktan mendekati kesetaraan stoikiometri.

Optimasi Pembentukan Magnesium Silikat Menggunakan *Respons Surface Methodology* (RSM)

Data pada **Tabel 2** dianalisis menggunakan metode Response Surface Methodology (RSM) dengan model *Central Composite Design* (CCD) melalui aplikasi *Design Expert* 13. Pendekatan ini digunakan untuk menentukan kondisi optimum berdasarkan hubungan matematis antar variabel, yaitu perbandingan mol Mg : NaOH dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ yang berpengaruh signifikan terhadap hasil.

Tabel 2. Perolehan yield magnesium untuk perhitungan *Respons Surface Methodology*

Perbandingan mol Mg:NaOH	Perbandingan mol Mg(OH) ₂ : Na ₂ SiO ₃	Massa Endapan MgSiO ₃ (gram)	Massa Mg Awal (gram)	Massa Mg Akhir (gram)	yield Mg (%)
1: 1,8	1:0,8	71.56	33.4195	17.890	53.532
	1:1	74.54	33.4195	18.635	55.761
	1:1,2	72.43	33.4195	18.108	54.182
1:2	1:0,8	88.23	33.4195	22.059	66.005
	1:1	94.53	33.4195	23.633	70.322
	1:1,2	91.32	33.4195	22.830	68.314
1:2,2	1:0,8	85.23	33.4195	21.308	63.758
	1:1	90.43	33.4195	22.608	67.649
	1:1,2	89.89	33.4195	22.472	67.242
1:2,4	1:0,8	84.23	33.4195	21.058	63.010
	1:1	88.55	33.4195	22.139	66.244
	1:1,2	87.34	33.4195	21.836	65.338
1:2,6	1:0,8	75.12	33.4195	18.780	56.195
	1:1	79.23	33.4195	19.808	59.269
	1:1,2	78.32	33.4195	19.580	58.589

Tabel 3. Ringkasan model statistik respon yield Mg

Source	Std. Dev.	R ²	Adjusted R ²	Predicted R ²	PRESS	
Linear	5.94	0.0376	-0.1228	-0.6139	710.78	
2FI	6.20	0.0390	-0.2230	-1.4677	1086.83	
Quadratic	2.48	0.8745	0.8048	0.6869	137.89	Suggested
Cubic	1.95	0.9484	0.8796	0.7902	92.40	Aliased

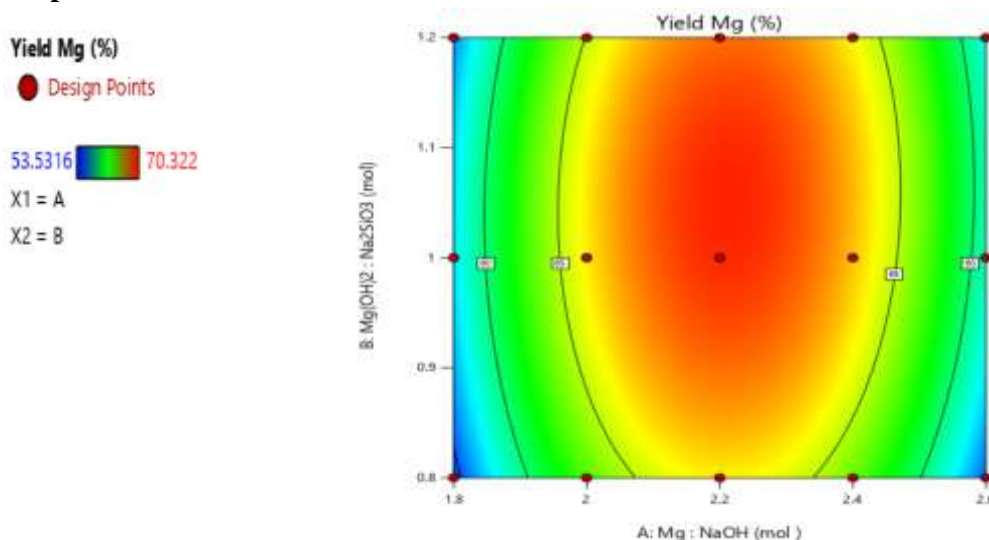
Model matematis ditentukan berdasarkan analisis RSM menggunakan aplikasi *Design Expert 13*, dengan model kuadratik terpilih sebagai yang terbaik. Model ini memiliki standar deviasi paling kecil (2,48), nilai R² tinggi (0,8745), dan nilai PRESS terendah (137,89), menunjukkan akurasi prediksi yang baik. Sementara itu, model kubik tidak dipertimbangkan karena dinyatakan Aliased, sehingga parameternya tidak dapat diperkirakan secara spesifik.

Tabel 4. Analisis Anova

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	385.16	5	77.03	12.55	0.0008	<i>significant</i>
A-Mg : NaOH	4.11	1	4.11	0.6697	0.4343	
B-Mg(OH) ₂ : Na ₂ SiO ₃	12.47	1	12.47	2.03	0.1879	
AB	0.6139	1	0.6139	0.1000	0.7591	
A ²	351.35	1	351.35	57.22	< 0.0001	
B ²	16.62	1	16.62	2.71	0.1344	
Residual	55.26	9	6.14			
Cor Total	440.42	14				

Berdasarkan **Tabel 4**, analisis ANOVA menunjukkan bahwa model memiliki pengaruh signifikan terhadap kadar magnesium silikat dan yield, dengan p-value 0,0008. Variabel Mg : NaOH (A) dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ (B) masing-masing memiliki p-value 0,4343 dan 0,1879, menunjukkan pengaruh yang signifikan. Analisis menggunakan *Design Expert 13* dan metode RSM membuktikan bahwa model mampu menggambarkan hubungan antar variabel dengan akurasi yang baik.

Analisa Respon Yield Produk

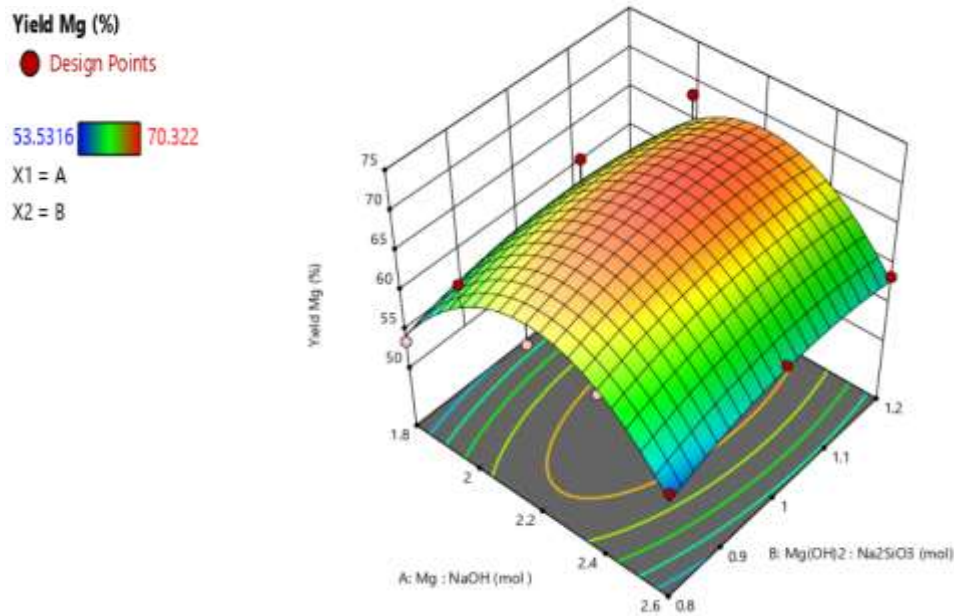


Gambar 3. Grafik Contour pengaruh Perbandingan mol NaOH dan Perbandingan mol Na₂SiO₃ terhadap yield produk

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara Mg : NaOH (A) dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ (B), dan yield (%) yang dihasilkan dalam proses. Dari grafik ini, terlihat bahwa kondisi optimum ketika perbandingan Mg : NaOH berada di sekitar 1:2,2 dan perbandingan konsentrasi sodium silikat sekitar 1:1 mol. Ini menunjukkan bahwa kombinasi tersebut merupakan kondisi optimal untuk menghasilkan yield maksimal.

Menyesuaikan perbandingan konsentrasi NaOH dan perbandingan konsentrasi sodium silikat hingga titik ini tampaknya meningkatkan efisiensi proses. Namun, jika perbandingan Mg : NaOH melebihi 1:2,2 mol dan perbandingan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ kurang dari 1:1 mol, yield justru menurun secara signifikan. Hal ini menandakan adanya batas optimal yang perlu diperhatikan agar hasil tetap maksimal. Grafik ini juga menunjukkan bahwa yield yang lebih rendah terjadi ketika perbandingan konsentrasi NaOH berada di kisaran (1:2,4 hingga 1:2,6 mol) dan perbandingan konsentrasi sodium silikat terlalu rendah (1:0,8 mol).

Warna biru yang dominan pada grafik mengindikasikan bahwa kondisi tersebut kurang mendukung proses pembentukan hasil yang maksimal. Oleh karena itu, baik NaOH maupun sodium silikat yang berada di luar rentang optimal dapat menyebabkan penurunan yield. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan yield terbaik perbandingan konsentrasi Mg : NaOH yang ideal adalah sekitar 1:2,2 mol dan perbandingan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ sekitar 1 : 1 mol.



Gambar 4. Grafik 3D pengaruh Perbandingan mol NaOH dan Perbandingan mol Na₂SiO₃ terhadap yield produk

Gambar 4 menunjukkan bagaimana perbandingan mol NaOH dan Na₂SiO₃ memengaruhi yield magnesium silikat (%). Dari grafik ini, terlihat bahwa kedua variabel tersebut berperan penting dalam menentukan hasil reaksi. Yield optimal tercapai pada perbandingan Mg : NaOH berada di 1 : 2,2 mol dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ pada 1:1 , yang ditandai dengan area berwarna merah pada grafik. Kondisi ini terjadi karena pada rasio tersebut, ion magnesium dan silikat berada dalam keseimbangan. Dengan perbandingan Mg : NaOH sebesar 1:2,2 mol, proses presipitasi magnesium silikat dapat berlangsung secara baik karena ion silikat tersedia dalam bentuk yang lebih reaktif. Sementara itu, perbandingan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ sebanyak 1:1 mol memastikan jumlah silikat yang cukup untuk bereaksi dengan ion magnesium tanpa menghasilkan senyawa samping. Sebaliknya, jika perbandingan NaOH terlalu tinggi atau jika jumlah Na₂SiO₃ berada di luar rentang optimal (terlalu banyak atau terlalu sedikit), yield justru mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena ketidakseimbangan reaksi, di mana ion-ion yang dibutuhkan tidak tersedia dalam jumlah yang tepat, sehingga reaksi tidak berjalan dengan efisien [9].

Penentuan Kondisi Optimum

Nilai Parameter masing – masing variabel bebas yang digunakan pada penelitian sebagai berikut.

Tabel 5. Nilai Parameter untuk Variabel Bebas Optimasi

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Mg : NaOH	is in range	1.8	2.6	1	1	3
B:Mg(OH) ₂ : Na ₂ SiO ₃	is in range	0.8	1.2	1	1	3
Yield Mg	maximize	53.5316	70.322	1	1	3

Melalui hasil optimasi dengan *Software Design Expert* 13 diperoleh kondisi optimum. Adapun nilai optimum diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 6** sebagai berikut.

Tabel 6. Nilai Optimum dari *Design Expert* 13

Perbandingan mol Mg : NaOH	Perbandingan mol Mg(OH) ₂ : Na ₂ SiO ₃	Yeild	Desirability
1 : 2,214	1 : 1,050	69,788 %	0,968

Berdasarkan **Tabel 6**, hasil perhitungan menggunakan *Design Expert* 13 menunjukkan bahwa kondisi optimal untuk memperoleh hasil terbaik terjadi pada perbandingan mol Mg dan NaOH sebesar 1:2,214 serta Mg(OH)₂ dan Na₂SiO₃ sebesar 1:1,050. Dengan kombinasi ini, yield produk yang dihasilkan mencapai 69,788%, menunjukkan efisiensi proses yang cukup tinggi. Selain itu, desirability digunakan untuk mengukur seberapa baik solusi optimal yang dihasilkan dalam mencapai tujuan yang diinginkan. Dalam percobaan ini, nilai desirability yang diperoleh adalah 0,968, yang menandakan bahwa titik optimum yang ditemukan sudah sangat baik karena mendekati nilai maksimal. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi variabel yang digunakan mampu memberikan hasil yang sesuai dengan harapan.

Kondisi optimum untuk membentuk magnesium silikat terjadi pada perbandingan Mg : NaOH 1:2,214 dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ 1:1, dengan yield produk mencapai 69,788%. Sementara itu, dalam proses presipitasi magnesium silikat dari geothermal sludge [10], rasio optimal antara Na₂SiO₃ dan bittern adalah 1:1,5, menghasilkan efisiensi penyisihan magnesium sebesar 67,162% dan silikat sebesar 97,3%. Selain itu, hubungan antara perbandingan mol Na₂SiO₃ dan efisiensi presipitasi menunjukkan pola yang serupa, baik dalam pembentukan magnesium silikat dari silika murni maupun dari geothermal sludge. Efisiensi presipitasi meningkat seiring bertambahnya konsentrasi Na₂SiO₃ hingga mencapai titik optimal, namun mulai menurun ketika konsentrasi semakin tinggi. Pada perbandingan 1:1,2 mol Na₂SiO₃, efisiensi pembentukan endapan mulai berkurang karena kelarutan ion-ion dalam larutan meningkat, menyebabkan sebagian produk kembali larut ke dalam fase cair.

Penelitian ini menegaskan potensi bittern sebagai bahan baku magnesium silikat (MgSiO₃), dengan fokus pada pengaruh perbandingan mol NaOH dan Na₂SiO₃. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan perbandingan mol Na₂SiO₃ meningkatkan yield hingga titik optimum, setelah itu tidak memberikan efek tambahan karena ion magnesium telah habis bereaksi. Begitu pula, peningkatan NaOH mempercepat pembentukan endapan. Melalui optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM), kondisi terbaik dicapai pada perbandingan mol Mg : NaOH sebesar 1:2,214 dan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ sebesar 1:1,050, dengan yield optimal sebesar 69,969%.

4. Kesimpulan

Proses pembentukan magnesium silikat dari bittern dilakukan dengan metode presipitasi, menggunakan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) untuk menemukan kondisi terbaik. Hasil optimal dengan yield sebesar 69,788% dicapai pada saat perbandingan Mg : NaOH yang digunakan sebesar 1:2,214 mol dan perbandingan Mg(OH)₂ : Na₂SiO₃ sebesar 1:1,050. Dalam proses pembentukan magnesium silikat ini, penambahan konsentrasi NaOH dan Na₂SiO₃ secara berlebih justru dapat meningkatkan kelarutan dalam proses presipitasi, sehingga yield dan komposisi magnesium silikat yang dihasilkan menjadi kurang optimal. Kondisi ini terjadi ketika konsentrasi NaOH sebesar 1:2,6 mol dan Na₂SiO₃ sebesar 1:1,6 mol, di mana yield yang diperoleh hanya mencapai 58,252%, lebih rendah dibandingkan kondisi optimal. Selain itu, hasil analisis menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) pada yield Mg tertinggi menunjukkan bahwa sampel yang dihasilkan mengandung MgO sebesar 17% dan SiO₂ sebesar 71%.

5. Saran

Penelitian lanjutan disarankan Untuk memperdalam studi pembentukan magnesium silikat dari bittern, perlu dilakukan penelitian dengan metode berbeda, membandingkan keunggulan masing-masing, serta menguji aplikasinya sebagai adsorben limbah dan katalis kimia.

6. Referensi

- [1] Apriani, M., Hadi, W., & Masduqi, A. '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 (2018)
- [2] BSPJI. Laporan Hasil Uji Bittern. Badan Standardisasi Dan Kebijakan Jasa Industri (2024)

- [3] Pratiwi, W.S.W., Nuzula, N.I., Suci, D.S., Kartika, A.G.D. & Effendy, M. 'Produksi $MgCl_2$ dari Bittern melalui Optimalisasi Pemisahan Ion Sulfat Menggunakan Reagen Kalsium Klorida Dihidrat' *Journal of Marine Research*. 10(2). 243–251 (2021)
- [4] Hasanah, Uswatun, et al. "Analysis of Sulfate (SO_4) Concentration in Bittern as Raw Material for Magnesium Sulfate ($MgSO_4$)." *Omni-Akuatika* 18.S1 (2022): 47-52.
- [5] Pahlepi, R., Sembiring, S. & Pandiangan, K. D. 'Pengaruh Penambahan MgO Pada SiO_2 Berbasis Silika Sekam Padi Terhadap Karakteristik Komposit $MgO-SiO_2$ Dan Kesesuaiannya Sebagai Bahan Pendukung Katalis'. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 01(02). 161-169 (2013)
- [6] Scott, S., Oze, C., Shah, V., Yang, N., Shanks, B., Cheeseman, C., Marshall, A. & Watsom, M. 'Transformation of abundant magnesium silicate minerals for enhanced CO_2 sequestration'. *Communications Earth & Environment*. 1-6 (2021)
- [7] Yusaera. *Kimia Dasar Panduan Lengkap*, Makassar: G Press (2018)
- [8] Fadlilah, I., Prasetya, A. & Mulyono, P. 'Recovery Ion Hg^{2+} dari Limbah Cair Industri Penambangan Emas Rakyat dengan Metode Presipitasi Sulfida dan Hidroksida', *Jurnal Rekayasa Proses*. 12(1). 23 (2018)
- [9] Radja, H. B. 'Kinetika Reaksi Pembuatan Magnesium Hidroksida dari Bittern,' *Journal of Chemical and Process Engineering*. 2 (1). 23-28 (2021)
- [10] Yuliasuti, R & Cahyono, H.B. 'Kajian Pengelolaan Limbah Cair Pada Industri Garam Konsumsi Beryodium'. *Prosiding 4th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*. 1(1): 73 (2020)
- [11] Nurmazaya, V. 'Analisis Pengaruh Suhu Dan Waktu Pada Pembentukan Silika Dari Sekam Padi Menggunakan Larutan KOH '. *Chemical Engineering Journal Storage*. 2 (5). 68-78 (2022)
- [12] Anami, W.R., Maslahat, M. and Arrisujaya, D. (2020) 'Presipitasi Logam Berat Limbah Cair Laboratorium Menggunakan Natrium Sulfida Dari Belerang Alam'. *Jurnal Sains Natural*. 10(2). 61(2020)
- [13] Yuliana, R., Rahim, E.A. & Hardi, J. (2017) 'Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Basah Pada Berbagai Waktu Pengadukan Dan Suhu Sintering'. *Kovalen*, 3(3). 201 (2017)
- [14] Andri P. 'Produksi Magnesium Silikat Berbahan Baku Sekam Padi Dan Bittern Dengan Metode Ekstraksi dan Presipitasi'. *Jurnal Teknik Kimia*. 1-4 (2021)
- [15] Septajayanti, N.B., Satriawan, A. & Suprihatin, S. 'Pembuatan Magnesium Silikat dari Geothermal Sludge dengan Penambahan Bittern'. *ChemPro*, 2(01). 18–22 (2021)