



**PEMODELAN PEMBUATAN GARAM INDUSTRI DARI AIR LAUT
DENGAN PENAMBAHAN ASAM STEARAT MENGGUNAKAN
ASPEN PLUS**

Ari Irawan, Nasrul ZA*, Rizka Mulyawan, Lukman Hakim, Rozanna Dewi

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

*e-mail: nasrulza@unimal.ac.id

Abstrak

Pembuatan garam industri dengan melakukan metode pengendapan dan penjemuran langsung dibawah terik sinar matahari merupakan cara tradisional yang masih banyak dilakukan. Namun, pembuatan garam dari air laut ini tidak selalu efisien dan menghasilkan garam berkualitas tinggi. Penelitian mengenai pembuatan garam industri dari air laut ini sudah pernah dilakukan dengan metode pengendapan mikrofiltrasi, maka dari itu di penelitian kali ini dilakukan dengan mensimulasikan pembuatan garam industri menggunakan aspen plus. Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan pembuatan garam industri dari air laut dengan penambahan asam stearat yang dibagi menjadi dua proses pengujian, yaitu pengendapan ion Ca^{2+} dari impurities $CaCl_2$, dan pengendapan ion Mg^{2+} dari impurities $MgCl_2$. Sementara hasil yang diperoleh dari penelitian ini, kadar garam $NaCl$ memiliki kondisi optimal pada suhu rentang $20^{\circ}C - 25^{\circ}C$ yang menghasilkan 83% tingkat kemurnian garam $NaCl$ dengan 15% konsentrasi asam stearat dan 5% konsentrasi impurities $CaCl_2$ dan 83% tingkat kemurnian garam $NaCl$ dengan 20% konsentrasi asam stearat dan 5% konsentrasi impurities $MgCl_2$. Sedangkan pada kondisi suhu $25^{\circ}C - 30^{\circ}C$ menghasilkan 83% tingkat kemurnian garam $NaCl$ dengan 20% konsentrasi asam stearat dan 15% konsentrasi impurities $CaCl_2$ dan 73% tingkat kemurnian garam $NaCl$ dengan 5% konsentrasi asam stearat dan 5% konsentrasi impurities $MgCl_2$.

Kata Kunci: Asam Stearat, Garam Industri, Konsentrasi $CaCl_2$, Konsentrasi $NaCl$ dan Konsentrasi $MgCl_2$

DOI : <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i5.13144>

1. Pendahuluan

Garam adalah salah satu keperluan yang menjadi pelengkap dari kebutuhan pangan dan merupakan sumber mineral bagi tubuh manusia. Meskipun Indonesia termasuk negara dengan banyak perairan, namun upaya untuk meningkatkan produksi garam belum diminati, termasuk dalam upaya meningkatkan kualitasnya. Di sisi lain, untuk memenuhi kebutuhan garam dengan kualitas yang baik (kandungan kalsium dan magnesium yang rendah), banyak diimpor dari luar negeri, terutama dalam hal ini garam beriodium dan garam industri.

Berdasarkan Pada Surat Keputusan dari Menteri Perindustrian Indonesia Nomor 29/M/SK/2/1995 tentang Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk garam industri, kadar NaCl yang diharapkan adalah 98,5 persen. Namun demikian, sebagian besar garam industri yang diproduksi di Indonesia belum memenuhi standar SNI dan SII. Kegiatan impor garam dilakukan untuk memenuhi permintaan garam yang sesuai dengan standar SII dan SNI. Oleh karena itu, perlu dilakukan inovasi untuk meningkatkan kualitas garam industri agar sesuai dengan standar yang diharapkan baik SNI maupun SII.

Pembuatan garam industri dengan melakukan metode pengendapan dan penjemuran langsung dibawah terik sinar matahari merupakan cara tradisional yang masih banyak dilakukan, Namun, pembuatan garam dari air laut ini tidak selalu efisien dan menghasilkan garam berkualitas tinggi. Salah satu kendala yang dihadapi adalah pembentukan endapan dan kontaminasi yang dapat mengurangi kualitas produk. Olehkarena itu, penambahan asam stearat telah diusulkan sebagai solusi potensial untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi proses pembuatan garam dari air laut

Asam stearat, sebuah asam lemak jenuh yang ditemukan dalam banyak bahan alami, telah terbukti memiliki sifat penghambat endapan dan kemampuan untuk mengurangi kontaminasi dalam proses pembuatan garam. Penggunaan asam stearat sebagai bahan tambahan dalam pembuatan garam dari air laut dapat membantu mengendalikan pertumbuhan kristal, mencegah pembentukan endapan dan meningkatkan kualitas produk. Dalam konteks ini, proposal penelitian ini

bertujuan untuk menggunakan perangkat lunak Aspen Plus untuk memodelkan proses pembuatan garam industri dari air laut dengan penambahan asam stearat. AspenPlus adalah perangkat lunak simulasi yang umum digunakan dalam industri kimia untuk memodelkan dan menganalisis proses-proses kompleks.

Dengan mengexploitasi Aspen Plus, penelitian ini akan mencoba mengerti secara terperinci mekanisme reaksi antara air laut, asam stearat, serta elemen-elemen lain yang terlibat dalam proses produksi garam. Tambahan pula, penelitian ini akan fokus pada optimalisasi kondisi operasional seperti suhu, tekanan, serta perbandingan bahan baku demi mencapai hasil terbaik dalam hal kualitas garam yang dihasilkan serta efisiensi proses. Diharapkan bahwa hasil dari penelitian ini akan menyediakan pengertian yang lebih baik tentang proses produksi garam industri dari air laut dengan penambahan asam stearat. Tambahan pula, pemodelan menggunakan Aspen Plus akan menyediakan petunjuk yang berharga bagi para praktisi industri untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi garam.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Widayat Dkk, 2017 abu dengan modifikasi pembuatan garam industri dari air laut menggunakan pengendapan mikrofiltrasi. Untuk itu penelitian kali ini dilakukan dengan mensimulasikan pembuatan garam industri menggunakan aspen plus untuk menemukan konsentrasi penambahan asam stearate dan suhu operasi yang optimal.

2. Bahan dan Metode

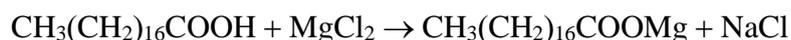
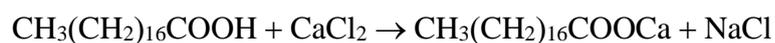
Bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini antara lain adalah Satu unit komputer Lenovo Processor AMD PRO 6, sistem operasi 32-bit, menggunakan beberapa aplikasi Perangkat Lunak Aspen Plus V10, Perangkat Lunak Design Expert V.13, Perangkat Lunak Microsoft Excel 2016, Perangkat Lunak Microsoft Office 2016, Data aktual air laut, Data aktual asam stearat, dan Data aktual kristalisator.

Penelitian ini terdiri dari empat tahap yaitu pembuatan *platform* penelitian, simulasi pembuatan garam, proses pengendapan impuritis dan pengujian validasi pemodelan. Variasi percobaan dilakukan terhadap suhu operasi

Rentang 20°C -25°C dan 25°C -30°C dan terhadap penambahan konsentrasi asam stearate 5%, 10%, 15% dan 20%. Adapun yang di uji yaitu pengaruh suhu operasi, pengaruh penambahan asamstearate dan pengaruh kadar impuiritis.

Pembuatan garam dimulai dengan *software aspen plus*, kemudian masukan semua komposisi murni dari air laut kedalam set up komposisi dan dilanjutkan ketahap penghilangan impuiritis yang masih terkandung. Langkah ini dimulai dengan mengalirkan air laut kedalam *flash drum* dengan memasukan suhu operasi, dan besar energi yang digunakan sehingga air laut siap ketahap simulasi berikutnya. Selanjutnya mereaksikan komponen-komponen garam yang sudah dipisahkan dari impuiritis nya untuk masok kedalam reaktor yang dilanjutkan dengan mengkristalisasikannya kedalam alat *crystallizer*. Jika berhasil, maka tahap selanjutnya memasukan komposisi asam stearat kedalam reaksi pembentukan dialat *crystallizer* dan mencari suhu optimal untuk digunakan pada proses kristalisasi ini. Dalam hal ini komposisi asam stearate yang ingin dimasukan 5%, 10%, 15%, 20% dan suhu optimal yang ingin dicari antara rentang 20°C -25°C dan 25°C -30°C. Hasil penelitian berupa konsetrasi kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dari pembuatan garam dari air laut dengan mengendapkan impuritis yang terkandung didalamnya berupa CaCl₂ dan MgCl₂. Pengendapan ini dilakukan menggunakan alat *Crystallizer* pada *software Aspen Plus V.10* dengan memberikan variasi suhu operasi dan penambahan variasi konsentrasi reaksi pengendapan asam stearat dan impuritis CaCl₂ dan MgCl₂.

Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan asam stearat dengan CaCl₂ dan MgCl₂ untuk menghasilkan kalsium stearat (CH₃(CH₂)₁₆COOCa) dan magnesium stearat (CH₃(CH₂)₁₆COOMg) berdasarkan reaksi berikut:



Hasil dari mencampurkan larutan ini menimbulkan endapan kalsium stearat dan magnesium stearat yang memurnikan garam NaCl yang dihasilkan dari impuritis CaCl₂ dan MgCl₂. Dalam penelitian ini, digunakan metode *Central Composite Design* untuk melakukan proses analisa. Diharapkan dengan

menggunakan metode ini, peneliti dapat mengetahui variabel yang berpengaruh dalam proses serta interaksi antar variabel.

Central Composite Design dengan *Response Surface* merupakan teknik yang digunakan dalam studi empiris dari hubungan satu atau lebih respon dan sejumlah variabel input. Dalam penelitian ini, respon yang diukur adalah yield dari NaCl, sedangkan variabel input berupa suhu operasi *crystalizer*, konsentrasi asam stearat, dan konsentrasi impuritas CaCl₂ dan MgCl₂.

3. Hasil dan Diskusi

Penelitian ini melibatkan simulasi produksi garam industri dari air laut dengan menambahkan asam stearat yang dibagi menjadi dua proses pengujian, yaitu pengendapan ion Ca²⁺ dari impuritas CaCl₂, dan pengendapan ion Mg²⁺ dari impuritas MgCl₂. Penelitian ini dianalisis menggunakan Metode Permukaan Respon (RSM) dengan *Software Design Expert* 13. Dari penelitian yang telah dilakukan, ditemukan hasil mengenai pengaruh konsentrasi asam stearat dan pengaruh konsentrasi impuritas terhadap tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan.

3.1 Pengendapan Ion Ca²⁺ Dari Impuritis CaCl₂

Berdasarkan hasil penelitian diatas maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi garam NaCl tertinggi dihasilkan dari pengendapan impuritis CaCl₂ dengan suhu operasi rentang 25°C-30°C, sehingga ditetapkan sebagai kondisi optimal pada pengendapan Ion Ca²⁺.

A. Validasi Model *Statistic*

Validasi hasil prediksi terhadap data hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 4.5. Tabel 4.5 menunjukkan perbandingan nilai kapasitas penyerapan antara percobaan dengan prediksi. Tabel tersebut menunjukkan bahwa persentase kesalahan pada setiap titik cukup kecil, maka dari itu dapat disimpulkan bahwa model yang diusulkan cukup valid untuk menyatakan hubungan antara variabel independen dan variabel dependen. Validasi hasil prediksi terhadap data hasil percobaan merupakan salah satu cara untuk membuktikan kevalidan model yang diusulkan.

Tabel 1 Validasi Hasil Prediksi Model Terhadap Data Eksperimen Ion Ca^{2+} .

	Variabel Bebas			Variabel Terikat		Error
	Suhu (°C)	Konsentrasi Asam Stearat (%)	Konsentrasi Impuritis CaCl_2 (%)	Konsentrasi NaCl	Prediksi (Y1)	
1.	31,7045	12,5	10	80	79,92336606	0,076633937
2.	30	5	15	81	80,00039	0,99961
3.	27,5	12,5	10	81	80,49993125	0,923503563
4.	23,2955	12,5	10	82		0,923503563
5.	25	20	15	82	81,44257	0,55743
6.	27,5	12,5	1,59104	81	80,33756685	0,662433154
7.	27,5	-0,113446	10	79	78,60244642	0,397553579
8.	27,5	12,5	18,409	81	80,66229643	0,337703574
9.	30	20	5	83	82,063795	0,936205
10.	25	20	5	81	80,256905	0,743095
11.	30	20	15	83	82,39740916	0,602590841
12.	27,5	25,1134	10	83	82,39740916	0,602590841
13.	30	5	5	79	78,30733	0,69267
14.	25	5	15	81	80,68603	0,31397
15.	25	5	5	79	78,49297	0,50703

Sumber : *Software Design Expert V.13*

Berdasarkan tabel 1 hasil analisa kadar Konsentrasi Garam NaCl yang dihasilkan dari pengendapan ion Ca^{2+} dari impuritis CaCl_2 didapat persamaan:

$$Y_1 = 74,23911 + 0,046207 A + 0,567106 B + 0,585971 C - 0,006667 AB - 0,010000 AC - 0,023333 BC$$

Dimana :

- Y_1 = Prediksi Konsentrasi
- NaClA = Suhu
- B = Konsentrasi Asam Stearat
- C = Konsentrasi Impuiritis $CaCl_2$

B. Analysis Of Variance (ANOVA) Model Linear

Uji F *One Way Anova* digunakan untuk melakukan pengujian dengan lebih dari dua contoh. Tujuan analisis ini adalah untuk menguji apakah rata-rata atau mean dari populasi yang diambil dari contoh-contoh tersebut adalah sama atau secara signifikan berbeda. Asumsi-asumsi yang harus dipenuhi dalam uji F *One Way Anova* ini adalah data contoh diambil dari populasi yang memiliki distribusi normal atau dianggap normal. Selain itu, varian dari populasi-populasi tersebut juga harus sama. Terakhir, contoh-contoh yang diambil tidak memiliki hubungan satu sama lain.

Analysis Of Variance (ANOVA) untuk *model Quadratic* dapat dilihat pada Tabel 2 yaitu untuk mengetahui adanya pengaruh yang *signifikan* terhadap model penelitian ANOVA pada jumlah total kapasitas pengendapan Ion Ca^{2+} .

Tabel 2 Data *Analysis Of Variance (ANOVA)* Jumlah Total Kapasitas Pengendapan Ion Ca^{2+} .

Sumber	Jumlah kuadrat	DF	Mean Square	F Value	P Value	Keterangan
Model	24.30	6	4.05	15.02	< 0.0001	<i>Significant</i>
A-Suhu	0.1361	1	0.1361	0.5050	0.4898	
B-KonsentrasiAsam Stearat	20.49	1	20.49	76.00	< 0.0001	
C-Konsentrasi Impuiritis $CaCl_2$	1.17	1	1.17	4.35	0.0574	

AB	0.5000	1	0.5000	1.85	0.1964	
AC	0.0000	1	0.0000	0.0000	10.000	
BC	2.00	1	2.00	7.42	0.0174	
Residual	3.50	13	0.2696			
<i>Lack of Fit</i>	3.50	8	0.4381			
<i>Pure Error</i>	0.0000	5	0.0000			
Cor Total	27.80	19				

Sumber: *Software Design Expert V.13*

Tabel 2 menunjukkan ANOVA Jumlah total kapasitas penyerapan dengan *Design Expert* 13. Model dapat dinyatakan memiliki pengaruh yang signifikan jika model memiliki nilai probabilitas $<0,05$. Namun jika nilai probabilitas ($\text{Prob} > F$) lebih besar dari 0,05 maka model yang ditunjukkan tidak signifikan. ANOVA untuk model dan variabel A memiliki nilai probabilitas ($\text{Prob} > F$) lebih besar dari 0,1 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hal ini menunjukkan bahwa model *quadratic* dan variabel A hanya memberikan pengaruh kecil terhadap kapasitas penyerapan. Namun variabel A tetap disertakan dalam model, mengingat kemungkinan variabel ini memiliki dampak yang signifikan pada kapasitas penyerapan.

C. Uji Kelayakan Model *Quadratic*

Uji kelayakan Jumlah Total Kapasitas Pengendapan Ion Ca^{2+} dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3 Data Model *Quadratic* pada Kapasitas Pengendapan Ion Ca^{2+} .

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	DF	<i>Mean Square</i>	F Value	Prob > F	Keterangan
<i>Sequential Model Sum of Squares</i>						
<i>Mean vs Total</i>	1,32E+08	1	1,32E+08			
<i>Linear vs Mean</i>	21.80	3	7.27	19.36	< 0.0001	<i>Suggested</i>

<i>2FI vs Linear</i>	2.50	3	0.8333	3.09	0.0644	
<i>Quadratic vs 2FI</i>	0.1004	3	0.0335	0.0983	0.9592	
<i>Cubic vs Quadratic</i>	3.20	4	0.8011	24.08	0.0008	<i>Aliased</i>
<i>Residual</i>	0.1996	6	0.0333			
Total	1,32E+08	20	6578.60			
<i>Model Summary Statistics</i>						
<i>Linear</i>	0.6126	0.7840	0.7435	0.6011	11.09	<i>Suggested</i>
<i>2FI</i>	0.5192	0.8739	0.8158	0.4419	15.52	
<i>Quadratic</i>	0.5834	0.8775	0.7673	0.0701	25.85	
<i>Cubic</i>	0.1824	0.9928	0.9773	-0.5828	44.00	<i>Aliased</i>

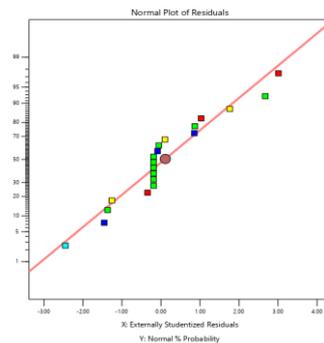
Sumber: *Software Design Expert V.13*

Dari hasil analisa *response surface methodology* (RSM) dengan menggunakan *design expert* didapatkan persamaan regresi model orde III dengan model *quadratic*. Keakuratan model tersebut dapat diketahui dari harga R-squared (R^2) yaitu 0,7840. Jika nilai R^2 mendekati 1, maka model ini semakin akurat dalam memprediksi respons (Design Expert 13, 2023).

Dalam uji *sum of square*, suatu model dinyatakan cocok jika nilai Adj R^2 dan juga Pred R^2 memiliki perbedaan kurang dari 0,2. Jika melihat hasil penelitian, nilai Adj R^2 adalah 0,7435 dan nilai Pred R^2 adalah 0,6011 yang menunjukkan bahwa model ini cocok karena perbedaan nilai Adj R^2 dan Pred R^2 kurang dari 0,2. Suatu model juga dikatakan bagus jika rasio Presisi yang Memadai lebih dari 3. Jika melihat tabel, rasio Presisi yang Memadai adalah 7,27 dan termasuk memadai sehingga model ini dapat digunakan (Design Expert 13, 2023).

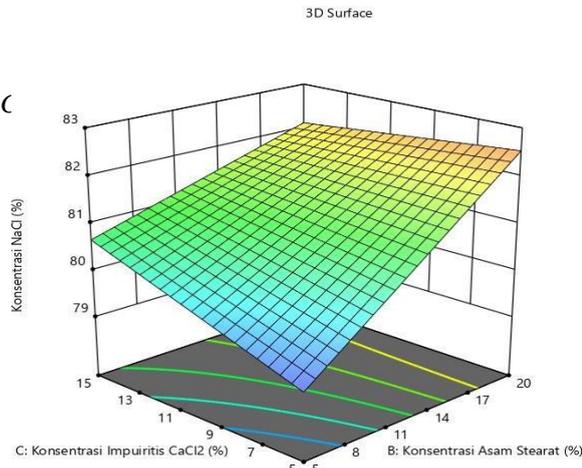
D. Pengaruh Konsentrasi Asam Stearat dan Konsentrasi Impuritis CaCl_2 Terhadap Konsentrasi Garam NaCl Yang Dihasilkan

Selanjutnya pada Tabel 1, 2, dan 3 menunjukkan analisa terhadap model korelasi variabel bebas terhadap variabel terikat. Koefisien korelasi dan standar deviasidigunakan untuk mengevaluasi model yang dikembangkan.



Gambar 1 Grafik Plot Residual Pengendapan Ion Ca^{2+}

Model menunjukkan koefisien determinasi yang sangat tinggi (R^2 0,8739) dan koefisien determinasi terkoreksi juga sangat tinggi (adj. R^2 0,8158). Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari 87% data eksperimen sesuai dengan hasil prediksi oleh model dan 13% data eksperimen tidak sesuai dengan hasil prediksi oleh model. Namun jika pada sebuah model terdapat banyak nilai eksperimen yang tidak signifikan maka R^2 terkoreksi (adj. R^2) lebih rendah dari R^2 . Hal ini menunjukkan bahwa deviasi antara nilai eksperimen dengan nilai prediksi rendah. Sehingga dapat dikatakan bahwa model ini memiliki regresi matriks yang sangat baik. Oleh karena itu untuk uji kelayakan model, yang mencakup *Sequential model*, *Sum of squares*, *Lack of fit* dan rangkuman statistik model yang dihasilkan pada tabel tersebut menunjukkan bahwa model Linear sangat disarankan penggunaannya untuk menghubungkan variabel bebas dan terikat, sedangkan *model Cubic* tidak dapat disarankan dikarenakan tidak cukup data bagi perangkat lunak untuk menganalisis (Aliased). Sehingga hasil anova pada *Response Surface Methodology* tersebut diplotkan menjadi grafik 3D Surface seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi Asam Stearat Dan Konsentrasi Impuritis CaCl₂ Terhadap Konsentrasi Garam NaCl Yang Dihasilkan

Gambar 2. Menunjukkan bahwa hasil pengendapan ion Ca²⁺ didapat tingkat kemurnian NaCl paling tinggi terdapat pada run 9, run 11, dan run 12. Hasil tingkat kemurnian NaCl tertinggi ini diperoleh dengan 20% konsentrasi asam stearat dan 5% konsentrasi impuritis CaCl₂ yang menghasilkan 83% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 30°C pada run 9, 20% konsentrasi asam stearat dan 15% konsentrasi impuritis CaCl₂ yang menghasilkan 83% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 30°C pada run 11, dan 25,1134% konsentrasi asam stearat dan 10% konsentrasi impuritis CaCl₂ yang menghasilkan 83% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 27,5°C pada run 12. Sedangkan tingkat kemurnian NaCl paling rendah terdapat pada run 7, run 13, dan run 15. Hasil tingkat kemurnian NaCl terendah ini diperoleh dengan -0,0113446% konsentrasi asam stearat dan 10% konsentrasi impuritis CaCl₂ yang menghasilkan 79% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 27,5°C pada run 7, 5% konsentrasi asam stearat dan 5% konsentrasi impuritis CaCl₂ yang menghasilkan 79% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 30°C pada run 13, dan 5% konsentrasi asam stearat dan 5% konsentrasi impuritis CaCl₂ yang menghasilkan 79% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 25°C pada run 15.

Dari hasil penelitian didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar konsentrasi asam stearat yang diberikan semakin besar tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan. Hal ini disebabkan ketika asam stearat ditambahkan ke dalam larutan yang mengandung impuritas CaCl₂, asam stearat dapat berinteraksi

dengan ion-ion Ca^{2+} yang ada dalam larutan. Asam stearat memiliki ujung polar (hidrofilik) dan ujung nonpolar (hidrofobik). Ujung hidrofilik asam stearat dapat berinteraksi dengan air, sedangkan ujung hidrofobik dapat berinteraksi dengan ion-ion Ca^{2+} . Ketika asam stearat berinteraksi dengan ion-ion Ca^{2+} , molekul-molekul asam stearat membentuk lapisan tipis di sekitar ion-ion tersebut. Lapisan ini dapat melindungi ion-ion Ca^{2+} dari interaksi dengan ion-ion Cl^- yang ada dalam larutan, sehingga mengurangi kelarutan impuritas CaCl_2 . Akibatnya, ketika larutan NaCl diendapkan, lapisan asam stearat yang terbentuk dapat membantu memisahkan dan mengendapkan ion-ion Ca^{2+} sebagai impuritas, sementara ion-ion Na^+ dan Cl^- tetap larut dalam larutan dan membentuk garam NaCl yang lebih murni. Sedangkan ketika konsentrasi impuritas CaCl_2 meningkat, jumlah ion Ca^{2+} dalam larutan juga meningkat. Ketika asam stearat ditambahkan ke larutan, molekul asam stearat dapat bersaing dengan ion Ca^{2+} untuk membentuk ikatan dengan ion Cl^- dalam kristal NaCl yang sedang terbentuk. Ini dapat mengurangi kemampuan asam stearat untuk mengendapkan ion Ca^{2+} , sehingga mempengaruhi peningkatan kemurnian kristal NaCl .

3.2 Pengendapan Ion Mg^{2+} Dari Impuritas MgCl_2

Berdasarkan hasil penelitian diatas maka dapat disimpulkan bahwa konsentrasi garam NaCl tertinggi dihasilkan dari pengendapan impuritas MgCl_2 dengan suhu operasi rentang 20°C - 25°C , sehingga ditetapkan sebagai kondisi optimal pada pengendapan Ion Mg^{2+} .

A. Validasi Model *Statistic*

Validasi hasil prediksi pada data hasil eksperimen dapat ditemukan. Tabel 4 menunjukkan perbandingan nilai kapasitas penyerapan antara eksperimen dan prediksi. Tabel tersebut menunjukkan bahwa persentase kesalahan pada setiap titik sangat kecil, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa model yang diusulkan sangat valid untuk menjelaskan hubungan antara variabel independen dan variabel dependen. Validasi hasil prediksi pada data hasil eksperimen membuktikan validitas model yang diusulkan.

Tabel 4 Validasi Hasil Prediksi Model Terhadap Data Eksperimen Ion Mg^{2+} .

	Variabel Bebas			Variabel Terikat		Error
	Suhu (°C)	Konsentrasi Asam Stearat (%)	Konsentrasi Impuritis CaCl ₂ (%)	Konsentrasi NaCl	Prediksi(Y ₁)	
1.	22,5	12,5	1,59104	82	81,69461264	0,305387358
2.	22,5	12,5	10	81	80,20005875	0,79994125
3.	18,2955	12,5	10	81	80,49110896	0,508891044
4.	22,5	25,1134	10	82	81,23005007	0,769949926
5.	20	20	5	83	82,24923	0,75077
6.	20	5	5	81	80,02434	0,97566
7.	20	20	15	80	79,47187	0,52813
8.	22,5	-0,113466	10	80	79,17006204	0,829937963
9.	22,5	12,5	18,409	79	78,70549775	0,294502252
10.	25	5	15	79	78,9009	0,0991
11.	20	5	15	80	79,74703	0,25297
12.	25	5	5	80	79,67821	0,32179
13.	25	20	5	83	82,403125	0,596875
14.	25	20	15	80	79,125765	0,874235
15.	26,7045	12,5	10	80	79,90900854	0,090991456

Sumber : *Software Design Expert V.13*

Berdasarkan tabel 4 hasil analisa kadar Konsentrasi Garam NaCl yang dihasilkan dari pengendapan ion Mg^{2+} dari impurities $MgCl_2$ didapat persamaan:

$$Y_1 = 80,055911 - 0,052561 A + 0,098321 B + 0,255604 C + 0,006667 AB - 0,010000 AC - 0,016667 BC$$

Dimana : Y_1 = Prediksi Konsentrasi NaCl
 A = Suhu
 B = Konsentrasi Asam Stearat
 C = Konsentrasi Impurities $MgCl_2$

B. Analysis Of Variance (ANOVA) Model Linear

One Way Anova (Uji F) digunakan untuk pengujian dengan lebih dari dua sampel. Tujuan analisis adalah untuk menguji apakah rata-rata atau mean dari populasi yang diambil dari sampel tersebut sama atau secara signifikan berbeda. Asumsi-asumsi dari uji one way ANOVA adalah data sampel diambil dari populasi yang memiliki distribusi normal atau dianggap normal dan varian dari populasi-populasi tersebut sama. Selain itu, sampel-sampel yang diambil tidak saling berhubungan.

Analysis Of Variance (ANOVA) untuk *model Quadratic* dapat dilihat pada Tabel 5 yaitu untuk mengetahui adanya pengaruh yang signifikan terhadap model penelitian ANOVA pada jumlah total kapasitas pengendapan Ion Mg^{2+} .

Tabel 5 Data *Analysis Of Variance* (ANOVA) Jumlah Total Kapasitas Pengendapan Ion Mg^{2+} .

Sumber	Jumlah kuadrat	DF	Mean Square	F Value	P Value	Keterangan
Model	25.91	6	4.32	14.62	< 0.0001	<i>significant</i>
A-Suhu	0.9926	1	0.9926	3.36	0.0898	
B-Konsentrasi Asam Stearat	9.46	1	9.46	32.00	< 0.0001	

C-Konsentrasi Impuritis MgCl ₂	12.46	1	12.46	42.18	< 0.0001	
AB	0.5000	1	0.5000	1.69	0.2159	
AC	0.5000	1	0.5000	1.69	0.2159	
BC	2.00	1	2.00	6.77	0.0219	
Residual	3.84	13	0.2954			
<i>Lack of Fit</i>	3.01	8	0.3759	2.26	0.1928	<i>not significant</i>
<i>Pure Error</i>	0.8333	5	0.1667			
Cor Total	29.75	19				

Sumber: *Software Design Expert 13*.

Tabel 5 menunjukkan ANOVA Jumlah keseluruhan daya serap dengan *Design Expert 13*. Model dapat dinyatakan memiliki pengaruh yang penting jika model memiliki nilai probabiliti <0,05. Namun jika nilai probabiliti (Prob >F) lebih besar dari 0,05 maka model yang ditunjukkan tidak penting. ANOVA untuk model dan variabel A memiliki nilai probabiliti (Prob > F) lebih besar dari 0,1 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5. Hal ini menunjukkan bahwa model kuadrat dan variabel A hanya memberikan pengaruh kecil terhadap daya serap. Namun variabel A tetap disertakan dalam model, mengingat kemungkinan variabel ini memiliki dampak yang penting pada daya serap.

C. Uji Kelayakan Model *Quadratic*

Uji kelayakan Jumlah Total Kapasitas Pengendapan Ion Mg²⁺. dapat dilihat tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Data Model *Quadratic* pada Kapasitas Pengendapan Ion Mg²⁺.

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	DF	<i>Mean Square</i>	F Value	Prob > F	Keterangan
<i>Sequential Model Sum of Squares</i>						
<i>Mean vs Total</i>	1,30E+08	1	1,30E+08			

<i>Linear vs Mean</i>	22.91	3	7.64	17.86	< 0.0001	Suggested
<i>2FI vs Linear</i>	3.00	3	10.000	3.38	0.0510	Suggested
<i>Quadratic vs 2FI</i>	1.86	3	0.6191	3.12	0.0749	
<i>Cubic vs Quadratic</i>	1.09	4	0.2727	1.83	0.2416	Aliased
<i>Residual</i>	0.8927	6	0.1488			
Total	1,30E+08	20	6522.05			
<i>Model Summary Statistics</i>						
<i>Linear</i>	0.6539	0.7701	0.7269	0.6188	11.34	<i>Suggested</i>
<i>2FI</i>	0.5435	0.8709	0.8113	0.5549	13.24	<i>Suggested</i>
<i>Quadratic</i>	0.4454	0.9333	0.8733	0.6397	10.72	
<i>Cubic</i>	0.3857	0.9700	0.9050	0.5198	14.28	<i>Aliased</i>

Sumber: *Software Design Expert 13*

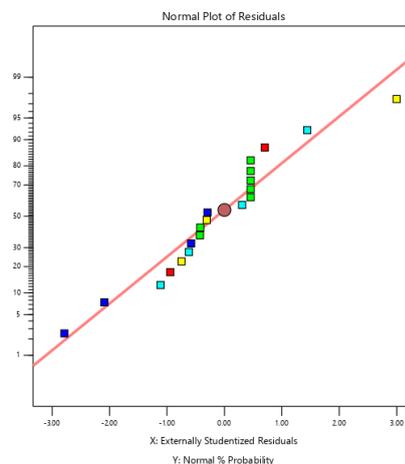
Dari hasil analisa *response surface methodology* (RSM) dengan menggunakan *design expert* didapatkan persamaan regresi model orde III dengan model *quadratic*. Keakuratan model tersebut dapat diketahui dari harga R-squared (R^2) yaitu 0,7701. Apabila nilai R^2 mendekati 1, maka model semakin baik untuk memprediksi respon (*Design Expert 13, 2023*)

Dalam uji *sum of square*, suatu model dianggap cocok jika nilai Adj R2 dan juga Pred R2 memiliki perbedaan nilai kurang dari 0,2. Jika dilihat dari hasil penelitian, nilai Adj R2 yang diperoleh adalah 0,7269 dan nilai Pred R2 adalah 0,6188, menunjukkan bahwa model ini cocok karena perbedaan nilai Adj R2 dan juga nilai Pred R2 lebih kecil dari 0,2. Suatu model juga dianggap baik jika rasio dari Adeq Precision lebih dari 3. Jika dilihat pada tabel, rasio dari Adeq Precision adalah 7,64 dan termasuk memadai sehingga model ini dapat digunakan (*Design*

Expert 13, 2023).

D. Pengaruh Konsentrasi Asam Stearat dan Konsentrasi Impuritis $MgCl_2$ Terhadap Konsentrasi Garam $NaCl$ Yang Dihasilkan

Selanjutnya pada Tabel 4, 5 dan 6 menunjukkan analisa terhadap model korelasi variabel bebas terhadap variabel terikat. Koefisien korelasi dan standar deviasi digunakan untuk mengevaluasi model yang dikembangkan.

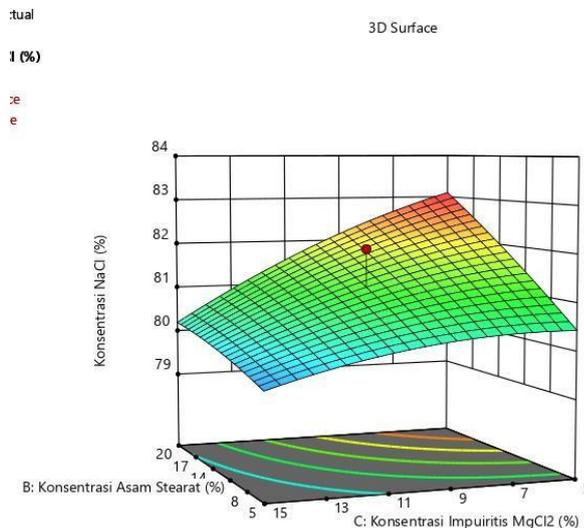


Gambar 3 Grafik Plot Residual Pengendapan Ion Mg^{2+}

Model menunjukkan koefisien determinasi yang tinggi (R^2 0,8709) dan koefisien determinasi terkoreksi juga tinggi (adj. R^2 0,8113). Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari 87% data eksperimen sesuai dengan hasil prediksi oleh model dan hanya 13 data eksperimen yang tidak sesuai dengan hasil prediksi oleh model.

Namun, jika sebuah model menghasilkan banyak nilai eksperimen yang tidak besar, maka R^2 terkoreksi (adj. R^2) akan lebih rendah dari R^2 . Ini menunjukkan bahwa deviasi antara nilai eksperimen dan nilai prediksi rendah. Sehingga dapat dikatakan bahwa model ini memiliki regresi matriks yang cukup. Oleh karena itu, untuk uji kelayakan model, yang mencakup *Sequential model*, *Sum of squares*, *Lack of fit*, dan rangkuman statistik model yang ditunjukkan pada tabel tersebut menunjukkan bahwa model *Linear* dan *2FI* sangat disarankan untuk menghubungkan variabel bebas dan terikat, sedangkan model *Cubic* tidak disarankan karena tidak ada cukup data bagi perangkat lunak untuk menganalisis

(Aliased). Sehingga hasil anova pada *Response Surface Methodology* tersebut diplotkan menjadi grafik 3D Surface seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pengaruh Konsentrasi Asam Stearat Dan Konsentrasi Impuritis MgCl₂ Terhadap Konsentrasi Garam NaCl Yang Dihasilkan

Gambar 4 Menunjukkan bahwa hasil pengendapan ion Mg²⁺ didapat tingkat kemurnian NaCl paling tinggi terdapat pada run 5 dan run 13. Hasil tingkat kemurnian NaCl tertinggi ini diperoleh dengan 20% konsentrasi asam stearat dan 5% konsentrasi impuritis MgCl₂ yang menghasilkan 83% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 20°C pada run 5 dan 20% konsentrasi asam stearat dan 5% konsentrasi impuritis MgCl₂ yang menghasilkan 83% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 25°C pada run 13. Sedangkan tingkat kemurnian NaCl paling rendah terdapat pada run 9 dan 10. Hasil tingkat kemurnian NaCl terendah ini diperoleh dengan 12,5% konsentrasi asam stearat dan 18,409% konsentrasi impuritis MgCl₂ yang menghasilkan 79% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 22,5°C pada run 9 dan 5% konsentrasi asam stearat dan 15% konsentrasi impuritis MgCl₂ yang menghasilkan 79% tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dengan suhu operasi 25°C pada run 10. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam stearat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kemurnian NaCl. Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa ketika asam stearat ditambahkan ke dalam larutan yang

mengandung impuritas MgCl_2 , molekul-molekul asam stearat dapat berinteraksi dengan ion-ion Mg^{2+} yang ada dalam larutan melalui interaksi ikatan kimia. Asam stearat memiliki gugus asam karboksilat yang bersifat polar, dan ion Mg^{2+} memiliki muatan positif. Interaksi antara gugus asam stearat dan ion Mg^{2+} menghasilkan pembentukan senyawa kompleks yang umumnya memiliki kelarutan yang lebih rendah daripada MgCl_2 itu sendiri. Karena senyawa kompleks yang terbentuk memiliki kelarutan yang rendah, ion-ion Mg^{2+} cenderung mengendap sebagai padatan dan terpisah dari larutan NaCl. Dengan demikian, kristal NaCl yang dihasilkan memiliki kemurnian yang lebih tinggi karena ion-ion Mg^{2+} yang dapat mencemari larutan terendapkan dalam bentuk senyawa kompleks yang kurang larut.

Ketika konsentrasi MgCl_2 meningkat, jumlah ion Mg^{2+} dalam larutan juga meningkat. Ketika larutan NaCl yang mengandung impuritas MgCl_2 didinginkan atau dibiarkan menguap, ion-ion Mg^{2+} dan Cl^- akan berkompetisi dengan ion Na^+ dan Cl^- dalam membentuk kristal NaCl. Ion-ion Mg^{2+} dapat terikutserta dalam kristalisasi dan terendapkan bersama dengan NaCl, menghasilkan kontaminasi dalam bentuk garam campuran $\text{MgCl}_2 \cdot \text{NaCl}$. Selain itu, ion-ion Mg^{2+} juga dapat mengganggu struktur kristal NaCl yang dihasilkan, mengubah ukuran dan bentuk kristal serta mengurangi

kemurnian kristal NaCl. Hal ini dapat terjadi karena ion-ion Mg^{2+} dapat masuk ke dalam kisi kristal NaCl, menggantikan ion-ion Na^+ dan mengganggu keseimbangan struktur kristal.

4. Simpulan dan Saran

Simulasi produksi garam industri dari air laut dengan penambahan asam stearat dibagi menjadi dua proses pengujian, yaitu pengendapan ion Ca^{2+} dari impuritas CaCl_2 , dan pengendapan ion Mg^{2+} dari impuritas MgCl_2 . Hasil pengendapan ion Ca^{2+} dari impuritas CaCl_2 menghasilkan kondisi paling optimal pada suhu antara 25°C - 30°C , menghasilkan 83% tingkat kemurnian garam NaCl dengan konsentrasi asam stearat sebesar 20% dan konsentrasi impuritas CaCl_2 sebesar 15%. Hasil pengendapan ion Mg^{2+} dari impuritas MgCl_2 menghasilkan

kondisi paling optimal pada suhu antara 20°C – 25°C, menghasilkan 83% tingkat kemurnian garam NaCl dengan konsentrasi asam stearat sebesar 20% dan konsentrasi impuritas MgCl₂ sebesar 5%. Hasil Pengujian *Response Surface Methodology* (RSM) pada pengendapan ion Ca²⁺ dari impuritas CaCl₂ dan MgCl₂ menunjukkan bahwa lebih dari 87% data eksperimen sesuai dengan hasil prediksi oleh model dan 13% data eksperimen tidak sesuai dengan hasil prediksi. Peningkatan konsentrasi asam stearat berpengaruh terhadap peningkatan tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan dan peningkatan konsentrasi impuritas berpengaruh terhadap penurunan tingkat kemurnian garam NaCl yang dihasilkan. Adapun saran pada penelitian ini adalah untuk melanjutkan penelitian dengan lebih banyak menghilangkan kandungan impuritas yang masih terkandung dalam larutan garam dari air laut, serta dapat mengembangkan variasi kondisi operasi yang lebih rendah dari penelitian ini agar proses pemurnian garam menghasilkan garam sesuai standar garam industri SNI DAN SII.

5. Daftar Pustaka

- [1] D, A. E., Sanjaya, D., Teknik, D., Fakultas, K., Universitas, T., & Semarang, D. (2017). *Modifikasi Pembuatan Garam Industri Dari Air Laut Dengan Metode Pengendapan - Mikrofiltrasi*. 4(2), 40–51.
Hal 42. <https://doi.org/10.14710/halal.v4i2.13682>.
- [2] Eiyä, David VonEiyä, D. Von, Wong, P. W., & Ana, A. K. (2021). Desalinasi Analisis teknis dan ekonomi dari flash crystallizer multi-tahap lanjutan untuk pengolahan air garam pekat. 503, 1–13., Wong, P. W., & Ana, A. K. (2021). *Desalinasi Analisis teknis dan ekonomi dari flash crystallizer multi-tahap lanjutan untuk pengolahan air garam pekat*. 503, 1–13.
Hal 2. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114925>.
- [3] Sulistrtyaningsih, T., & Sunarto, W. (2000). *MENGGUNAKAN ZEOLIT ALAM SEBAGAI PENGIKAT*. 147–156.
Hal 148. <https://doi.org/10.15294/saintekno.v15i2.12403>.

- [4] Widayat, W. (2004). *PRODUCTION OF INDUSTRY SALT WITH SEDIMENTATION – MICROFILTRATION PROCESS: OPTIMAZATION OF TEMPERATURE AND CONCENTRATION BY USING SURFACE RESPONSE METHODOLOGY*, Universitas Dipenogoro. 11–18.
Hal 11. <https://doi.org/10.14710/teknik.v30i1.1826>.