

Optimasi Kalsium Silikat (CaSiO_3) dari Batu Kapur Menggunakan Metode *Response Surface Methodology* (RSM)

Miftachul Wijaya^{1✉}, Muhammad Nizammudin Baihaqi², Ni Ketut Sari³

¹ Teknik Kimia, Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia

^{2,3} Teknik Kimia, Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 17-05-2024

Direvisi : 28-05-2024

Diterima : 31-05-2024

Kata Kunci:

Batu Kapur, Kalsium Silikat, Reaksi Padatan, *Respon Surface Methodology*, Silika

Keywords :

Calcium Silicate, *Limestone*, *Response Surface Methodology*, *Silica*, *Solid State Reaction*

ABSTRAK

Kalsium silikat merupakan senyawa kimia dengan rumus CaSiO_3 yang sering digunakan pada berbagai macam bidang industri. Kalsium silikat dibuat dengan beberapa metode salah satunya menggunakan metode reaksi padatan. CaO didapat dengan cara kalsinasi batu kapur untuk menghilangkan senyawa CO_2 selama 4 jam pada suhu 900°C . Pembuatan kalsium silikat dilakukan dengan metode reaksi padatan dengan variabel yang dijalankan pada rasio pencampuran CaO dan SiO_2 (1:0,5 ; 1:0,75 ; 1:1 ; 1:1,25 ; dan 1:1,5) dengan suhu reaksi pencampuran untuk membentuk kalsium silikat (1000°C , 1050°C , 1100°C , 1150°C , dan 1200°C). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rasio CaO terhadap SiO_2 terbaik yang dihasilkan pada penelitian menggunakan metode reaksi padatan. Metode optimasi dilakukan dengan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Hasil optimasi dengan RSM menunjukkan titik optimum pada percobaan berada pada suhu 1050°C dengan rasio pencampuran 1 : 0,5.

ABSTRACT

*Calcium silicate is a chemical compound with the formula CaSiO_3 that is often used in various industrial fields. Calcium silicate is produced through several methods, one of which is the solid-state reaction method. CaO is obtained by calcining limestone to remove CO_2 compounds for 4 hours at a temperature of 900°C . The production of calcium silicate is carried out using the solid-state reaction method with variables set at different mixing ratios of CaO and SiO_2 (1:0.5; 1:0.75; 1:1; 1:1.25; and 1:1.5) and reaction temperatures to form calcium silicate (1000°C , 1050°C , 1100°C , 1150°C , and 1200°C). This research aims to determine the best CaO to SiO_2 ratio produced in the study using the solid-state reaction method. Optimization was carried out using *Response Surface Methodology* (RSM). The optimization results with RSM indicate the optimum point of the experiment is at a temperature of 1050°C with a mixing ratio of 1:0.5.*

Corresponding Author :

Miftachul Wijaya

Teknik Kimia, Teknik & Sains, UPN “Veteran” Jawa Timur

Jl. Rungkut Madya No.1, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294

Email: 20031010140@student.upnjatim.ac.id

PENDAHULUAN

Batu kapur merupakan batuan padat yang banyak mengandung CaCO_3 yakni sebesar 95%. CaCO_3 dapat diubah menjadi CaO dengan dilakukan proses kalsinasi agar lebih mudah dimurnikan untuk mendapatkan kalsiumnya (Noviyanti dkk., 2015). Batu kapur pada keadaan murni berbentuk kristal kalsit yang memiliki warna bermacam-macam diantaranya putih, abu-abu, kuning tua, abu-abu kebiruan, jingga dan hitam. Proses kalsinasi pada CaCO_3 dengan suhu tinggi $\pm 800^\circ\text{C}$ akan melepaskan gas CO_2 yang sisanya terdiri dari CaO (Leksono, 2007). Salah satu upaya pemanfaatan batuan kapur adalah sebagai bahan baku pembuatan CaSiO_3 . SiO_2 ketika direaksikan dengan CaO menjadi CaSiO_3 (Haryono dkk., 2018).



Kegunaan CaSiO_3 dalam industri diantaranya dalam berbagai aplikasi seperti keramik, plastik, poliester, penyusun resin epoksi, aspal, pengganti fosfor yang digunakan untuk bahan lapisan dalam industri pupuk, pengganti selulosa alfa dan tepung kayu pada pembuatan kayu lapis dan lain-lain (Istiyati dan Asmi, 2013). Penambahan *filler* kitosan dan CaSiO_3 mempunyai pengaruh yang sama pada kuat tarik dan *water absorption* plastik *biodegradable*. *Filler* CaSiO_3 menyebabkan kemampuan degradasi meningkat dan semakin cepat terdegradasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *filler* kitosan dan CaSiO_3 dapat memperbaiki sifat mekanik dari plastik *biodegradable* (Udjiana, 2019). Pada biodentine dikembangkan berdasarkan bahan dental yang memiliki sifat biokompatibilitas terbaik yaitu CaSiO_3 yang bila bertinteraksi dengan air dapat mengeras, proses hidrasi ini akan menghasilkan *gel hydrated calcium silicate* (CSH) (Annisa, 2018). Kegunaan lain dari CaSiO_3 termasuk bahan untuk insulasi dalam isolator termal bahan keramik, untuk perbaikan tulang dan regenerasi serta pengganti kapur dan kaolin (Husain, 2019).

Proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah proses kalsinasi pada batu kapur dengan pencampuran SiO_2 menggunakan metode reaksi padatan. Proses kalsinasi merupakan proses untuk mendekomposisi reaksi atau untuk melepas CO_2 dari senyawa CaCO_3 yang akan menjadi CaO . Suhu memiliki pengaruh dalam berat sampel yang dihasilkan dikarenakan semakin banyak gas CO_2 yang dilepaskan akan menyebabkan proses dekomposisi semakin cepat (Zahara dkk., 2020). Metode yang digunakan untuk mensintesis CaSiO_3 diantaranya adalah metode sol-gel, metode hidrotermal dan metode reaksi padatan. Metode reaksi padatan dapat diartikan sebagai metode yang dilakukan dengan mereaksikan padatan dengan padatan lainnya dengan suhu tinggi diatas 1000°C , metode ini memiliki beberapa keunggulan dari metode lain, diantaranya ramah lingkungan, tidak beracun dan relatif murah (Husain dkk., 2019). Reaksi metode reaksi padatan dapat dituliskan sebagai berikut :



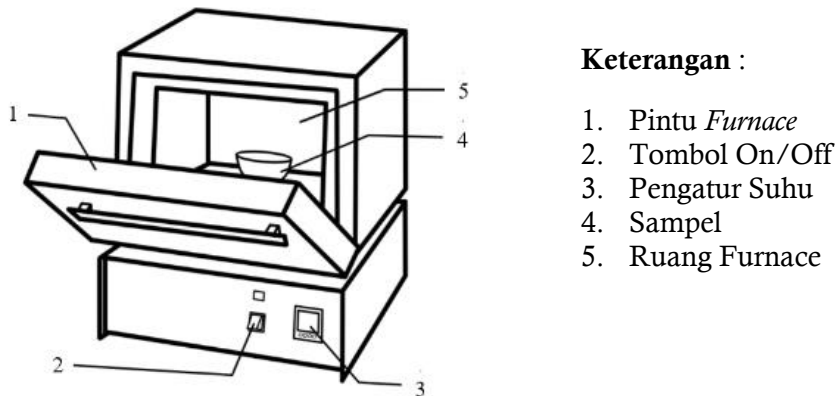
CaSiO_3 dari abu sekam padi dan cangkang bekicot dengan teknik reaksi padatan dihasilkan kandungan Si dari sekam padi sebesar 86,35% dan kandungan Ca dari cangkang siput sebesar 99,34%. CaSiO_3 dari minyak kelapa dan cangkang telur berhasil disintesis menggunakan teknik reaksi padatan dengan mencampurkan kedua bahan dengan sejumlah kecil air, diikuti dengan pemanasan di 900°C selama 2 jam (Yudha dkk., 2020). Proses kalsinasi batu kapur Kelurahan Tellu Limpoe, Kecamatan Suppa sebanyak 30 gram yang mengandung CaCO_3 dibagi menjadi 3 bagian, masing-masing sampel sebanyak 10 gram didapatkan CaCO_3 yang persentasenya menurun ketika suhu kalsinasi meningkat (Noviyanti, 2015). Kandungan senyawa CaO dalam CaCO_3 dari batu kapur Tanjung Karang Donggala setelah proses kalsinasi pada suhu 950°C selama 4 jam dengan ukuran 80 mesh diperoleh sebesar 98,83% (Tasari dkk., 2019). CaSiO_3 berhasil disintesis dari batu kapur lokal dan pasir silika menggunakan reaksi padatan selama 4 jam (Rashid dkk., 2014). Nanomaterial dengan rasio aspek tinggi dan rendah bisa berbentuk padat atau berongga (Kharissova, 2021). Rasio pencampuran CaO ataupun SiO_2 berpengaruh terhadap produk akhir bahan CaSiO_3 .

Beberapa wilayah di Indonesia terdapat banyak cadangan batu kapur atau *limestone* yang memiliki kandungan kalsium yang tergolong tinggi. Penelitian CaSiO_3 dari batu kapur dan SiO_2 dengan metode reaksi padatan dapat dijadikan alternatif pembuatan CaSiO_3 . Batu kapur yang

digunakan merupakan bahan yang tidak terlalu bernilai, selain itu batu kapur mudah didapatkan karena tersebar hampir merata di seluruh kepulauan Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan variasi suhu reaksi CaO terhadap SiO₂ dan rasio pencampuran CaO terhadap SiO₂ menggunakan pengolahan data terbaru dari yang sebelumnya menggunakan grafik Cartesius (x,y) menjadi grafik 3D (x,y,z) yang dilakukan menggunakan optimasi secara *Response Surface Methodology* (RSM). CaSiO₃ yang didapatkan dianalisis menggunakan metode gravimetri. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi suhu reaksi dan rasio pencampuran CaO terhadap SiO₂ serta untuk mengetahui rasio CaO terhadap SiO₂ terbaik yang dihasilkan pada penelitian menggunakan metode reaksi padatan dengan optimasi secara *Response Surface Methodology* (RSM). Dalam penelitian ini, diharapkan produk hasil CaSiO₃ yang diperoleh dilakukan optimasi secara *Response Surface Methodology* (RSM) dengan variabel suhu reaksi dan rasio pencampuran CaO terhadap SiO₂ yang saling berhubungan.

METODE PENELITIAN

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini yaitu Batu Kapur (CaCO₃) yang diperoleh dari UD Batu Indah di Blitar, Silika (SiO₂) dan Aquadest. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat *furnace*, neraca analitik, oven, cawan porselen, mortar dan alu, ayakan, kaca arloji dan batang pengaduk. Alat *furnace* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Keterangan :

1. Pintu *Furnace*
2. Tombol On/Off
3. Pengatur Suhu
4. Sampel
5. Ruang *Furnace*

Gambar 1. Rangkaian Alat *Furnace*

Prosedur pembuatan kalsium silikat (CaSiO₃) dari batu kapur dilakukan melalui dua tahap yaitu proses kalsinasi dan proses reaksi padatan. Kemudian dilakukan proses *pre-treatment* dengan dilakukan pencucian menggunakan H₂O untuk menghilangkan impuritisnya lalu dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100° C selama 1 jam. Setelah itu, CaCO₃ digerus menggunakan mortar dan alu hingga diperoleh serbuk CaCO₃ yang selanjutnya akan disaring menggunakan ayakan 80 mesh. Serbuk CaCO₃ yang telah lolos ayakan ditimbang sebanyak 1.000 gram untuk dilakukan proses kalsinasi di dalam *furnace* pada suhu 900 °C selama 4 jam. Setelah proses kalsinasi, didapatkan CaO yang kemudian dicampurkan dengan SiO₂. Proses pembentukan CaSiO₃ dilakukan dengan menggunakan metode reaksi padatan dengan suhu yang berbeda yakni (1000, 1050, 1100, 1150, 1200)° C selama 4 jam di dalam *furnace*. Rasio pencampuran CaO terhadap SiO₂ adalah 1:0.5, 1:0.75, 1:1, 1:1.25, 1:1.5. Setelah proses pendinginan di dalam *furnace* selama 12 jam sampai mencapai suhu ruang (30° C), sampel ditimbang untuk analisis gravimetri.

Response Surface Methodology (RSM) merupakan sekumpulan teknik matematika dan statistika yang bertujuan untuk menganalisis permasalahan dimana beberapa variabel independen mempengaruhi variabel respon dan metode ini digunakan untuk mengoptimalkan respon. Optimasi dengan *Response Surface Methodology* (RSM) dilakukan menggunakan software *Design Expert*, cara kerja *Response Surface Methodology* (RSM) dilakukan dengan menggunakan model

perhitungan *Central Composite Design* (CCD) dikarenakan menggunakan 2 variabel dalam percobaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

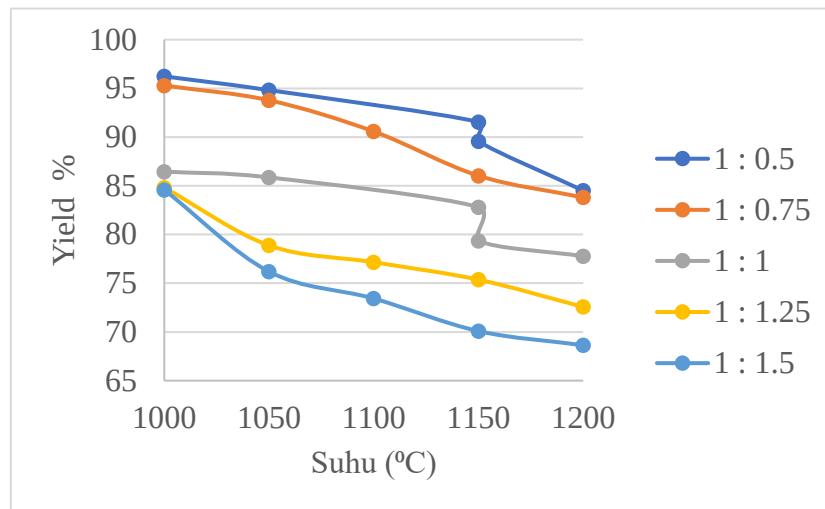
Metode reaksi padatan merupakan metode yang sederhana dan mudah namun mampu menghasilkan bahan CaSiO_3 dengan kristalinitas yang baik. Metode gravimetri digunakan untuk menganalisis kadar air sehingga dapat mengetahui perbandingan perbedaan berat bahan saat pemanasan. Uji kadar kelembapan bertujuan untuk menentukan sifat higroskopis bahan. Kadar air harus bernilai sekecil-kecilnya karena kadar air yang besar dapat menurunkan daya adsorpsi silika (Rahmatullah, 2022).

Tabel 1. Hasil Analisis Yield Produk

Rasio (CaO : SiO ₂)	Suhu (°C)	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)	Yield %
1 : 0.5	1000	85.1142	81.9061	96.2308
1 : 0.75		101.6321	96.8468	95.2915
1 : 1		113.6972	98.2903	86.4492
1 : 1.25		129.2632	109.6314	84.8125
1 : 1.5		143.9476	121.7592	84.5858
1 : 0.5	1050	84.2312	79.8651	94.8165
1 : 0.75		101.6972	95.3688	93.7772
1 : 1		114.3656	98.1934	85.8592
1 : 1.25		129.1451	101.8708	78.8809
1 : 1.5		144.3443	109.9861	76.1971
1 : 0.5	1100	84.9811	77.7954	91.5444
1 : 0.75		100.4655	90.9986	90.5770
1 : 1		114.8655	95.1134	82.8041
1 : 1.25		129.6039	99.9948	77.1542
1 : 1.5		144.0152	105.7534	73.4321
1 : 0.5	1150	84.6802	75.8531	89.5760
1 : 0.75		102.1342	87.8684	86.0323
1 : 1		114.1763	90.6036	79.3541
1 : 1.25		129.6701	97.7242	75.3637
1 : 1.5		143.1125	100.3031	70.0869
1 : 0.5	1200	84.9532	71.7931	84.5090
1 : 0.75		99.0971	83.0483	83.8050
1 : 1		113.4928	88.2664	77.7727
1 : 1.25		129.6652	94.1032	72.5740
1 : 1.5		144.3619	99.0882	68.6387

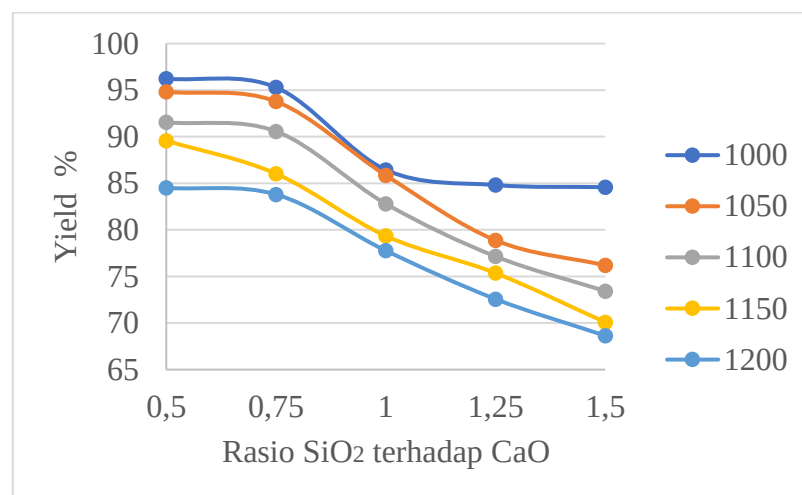
Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui persen berat gravimetri tertinggi sebesar 31.3613 % dan persen berat gravimetri terendah sebesar 0.0377 %, didapatkan persen yield produk tertinggi sebesar 96,2308% dan persen yield produk terendah sebesar 66,6387% . Berdasarkan Tabel 1, dapat diketahui bahwa persen Yield semakin turun seiring naiknya suhu reaksi. Peningkatan suhu dapat menyebabkan reaksi kimia yang tidak diinginkan antara zat yang sedang dianalisis dengan lingkungan atau bahan lain dalam sistem.

Pengaruh Suhu dan Rasio Pencampuran terhadap Perolehan Persen Yield



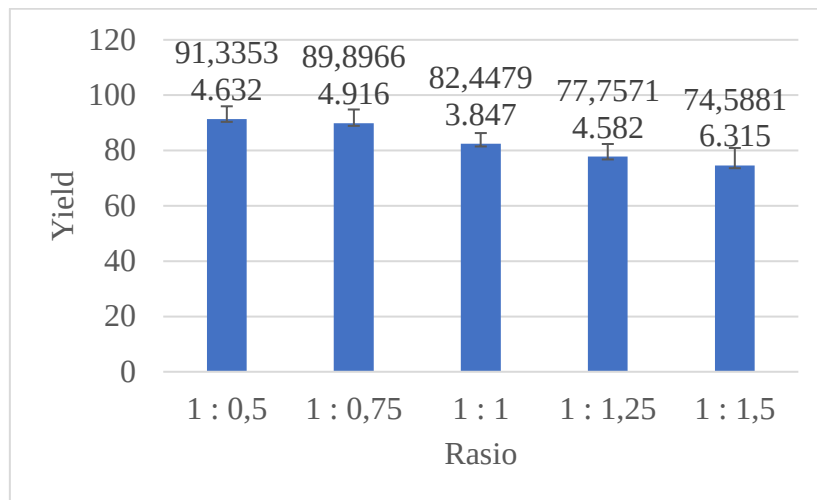
Gambar 2. Grafik Hubungan Suhu dan Rasio Pencampuran Terhadap Perolehan Persen Yield

Berdasarkan data hasil grafik diatas dimana variabel suhu mempengaruhi persen yield yang terbentuk, dimana semakin tinggi suhu maka persen yield yang diperoleh semakin rendah. Tingginya persen yield yang hilang dipengaruhi oleh rasio pencampuran CaO dengan SiO₂, dimana semakin tinggi rasio maka persen yield semakin rendah dikarenakan karakteristik dari CaO dan SiO₂ akan menghilang pada suhu tertentu. Berdasarkan grafik tersebut, suhu dan rasio mempengaruhi hasil persen yield yang hilang, dimana semakin tinggi suhu dengan rasio tertentu maka akan terjadinya kehilangan persen berat campuran, sehingga grafik yang didapatkan semakin naik seiring dengan peningkatan suhu maka semakin banyak rasio campuran maka persen berat pada sampel akan semakin berkurang.



Gambar 3. Hubungan Rasio SiO₂ terhadap Perolehan Persen Yield Produk

Berdasarkan gambar 3, hasil yang didapatkan dimana rasio SiO₂ terhadap CaO mempengaruhi persen yield yang terbentuk. Hubungan rasio SiO₂ terhadap CaO dengan persen yield produk adalah berbanding terbalik, dimana semakin tinggi rasio SiO₂ terhadap CaO maka yield yang diperoleh semakin menurun. Pada rasio 1 : 1 dapat terlihat bahwa terjadi penurunan, hal ini dikarenakan berat produk yang setara antara SiO₂ dan CaO mempengaruhi pembentukan senyawa atau struktur yang mengurangi kemampuan untuk membentuk produk utama, sehingga menurunkan perolehan persen yield.



Gambar 4. Error Bar Pengaruh Rasio Pencampuran terhadap Perolehan Yield

Error bar terbesar senilai 6,315 terdapat pada rasio pencampuran CaO dengan SiO₂ 1 : 1,5 dan error bar terkecil sebesar 3,847 terdapat pada rasio pencampuran CaO dengan SiO₂ 1 : 1. Error bar menggunakan data standar deviasi atau suatu nilai yang mengukur jarak data terhadap rata-rata. Grafik error bar digunakan sebagai petunjuk besarnya variasi data yang ditampilkan, sehingga semakin kecil error bar maka semakin kecil variasi data akibat error (Putri, 2023). Pada grafik tidak terlihat adanya fluktuasi yang menandakan jarak data dengan rata-rata tidak cenderung jauh.

Optimasi Hasil dengan RSM

Tabel 2. Model Statistik Quadratic

<i>Std. Dev.</i>	1.02	<i>R²</i>	0.9933
<i>Mean</i>	83.20	<i>Adjusted R²</i>	0.9839
<i>C.V. %</i>	1.23	<i>Predicted R²</i>	0.9487
		<i>Adeq Precision</i>	35.0743

Pada Tabel 2. Menunjukkan model persamaan dari Quadratic, pada model persamaan ini didapat nilai selisih Adjusted R² dan Predicted R² sebesar 0,0094 (<0,2) dengan nilai Adeq Precision 35,0743 (>4).

Tabel 3. Analisis Anova Model Quadratic

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-value</i>	<i>p-value</i>	
Model	1479.93	5	295.99	68.40	< 0.0001	<i>significant</i>
A-Suhu	440.20	1	440.20	101.72	< 0.0001	
B-Rasio	768.21	1	768.21	177.52	< 0.0001	
AB	2.39	1	2.39	0.5513	0.4669	
A ²	0.6583	1	0.6583	0.1521	0.7009	
B ²	0.7696	1	0.7696	0.1778	0.6780	
<i>Residual</i>	82.22	19	4.33			
<i>Cor Total</i>	1562.15	24				

Pada Tabel 3. Menunjukkan bahwa nilai p-value dari analisis anova model Quadratic menunjukkan nilai <0.0001 hal ini signifikan dari data yang didapat untuk diproses.

Tabel 4. Estimasi Koefisien Analisis Anova Pada Model Quadratic

Factor	Coefficient Estimate	df	Standard Error	95% CI Low	95% CI High	VIF
Intercept	81.55	1	0.7947	79.89	83.22	
A-Suhu	-6.13	1	0.6081	-7.41	-4.86	1.07
B-Rasio	-12.56	1	0.9430	-14.54	-10.59	1.39
AB	-0.8395	1	1.13	-3.21	1.53	1.07
A ²	0.3879	1	0.9946	-1.69	2.47	1.00
B ²	-0.7577	1	1.80	-4.52	3.00	1.39

Pada Tabel 4. Hasil model persamaan Quadratic dilakukan efisiensi analisis ANOVA untuk mengetahui adanya multikolinearitas pada permodelan. Permodelan Quadratic yang dipilih memiliki nilai multikolinearitas <10. Nilai VIF (*Variance Inflation Factors*) dari data melebihi 10 dimana nilai VIF yang ditoleransi <10, dalam hal ini terjadi multikolinearitas (Jamal, 2017). Multikolinearitas menyebabkan regresi tidak efisien/penyimpangannya besar (Widiharih, 2001). Multikolinearitas dapat memberikan efek yang fatal yaitu model menjadi non identified (Ridwan, (2018).

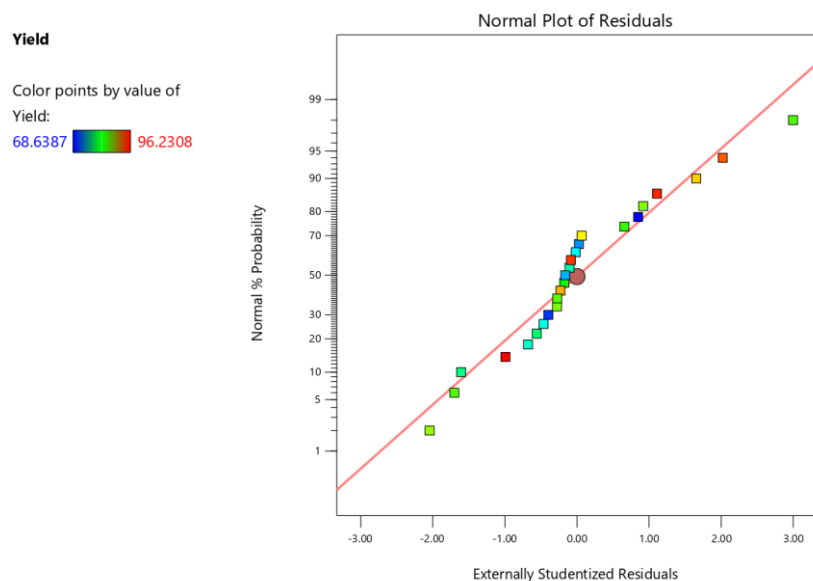
Persamaan Quadratic sebagai fungsi dalam penggunaan metode RSM dinyatakan sebagai berikut (Walpole, 2007):

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 \quad (3)$$

Keterangan :

- Y = Respon Prediksi
- X = Variabel Peubah
- β_0 = Intercept
- β_1 = Koefisien Regresi Linier
- β_2 = Koefisien Regresi Kuadratik
- β_{12} = Koefisien Regresi Interaksi Variabel Peubah

Hal ini menunjukkan bahwa permodelan Quadratik yang digunakan sudah sesuai, dengan parameter tidak adanya multikolinearitas pada permodelan sehingga dapat digunakan untuk mencari titik optimum dari hasil percobaan.



Gambar 5. Plot Residuals % Distribusi Permodelan Quadratic

Pada Gambar 5. Didapatkan plot residual % distribusi dari permodelan Quadratic. Pada grafik tersebut titik data dari hasil analisis percobaan dengan garis plot jarak pada setiap titik tidak terlalu jauh. Sehingga % distribusi dari permodelan sudah sesuai.

Tabel 5. Constraints Optimasi Hasil

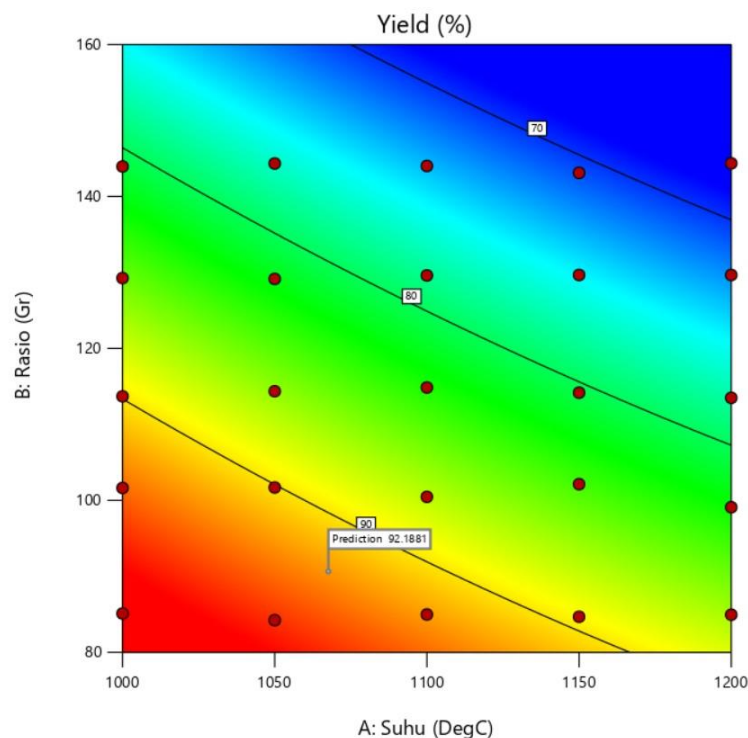
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
A:Suhu	<i>is in range</i>	1000	1200	1	1	3
B:Rasio	<i>is in range</i>	80	160	1	1	3
Berat Pembakaran	<i>minimize</i>	71.7931	121.759	1	1.58489	3
StdErr(Berat Pembakaran)	<i>minimize</i>	0.824499	1.68284	1	1	3
Yield	<i>maximize</i>	68.6387	96.2308	1	1	3
StdErr(Yield)	<i>maximize</i>	0.709907	1.44896	1	1	3

Pada Tabel 5. Analisis optimasi hasil dilakukan dengan 2 variabel faktor utama (suhu & rasio) dengan nilai range data, dan 2 variabel *response* (berat pembakaran & yield) dengan nilai range data, serta nilai standar error pada 2 *response* (std. error berat pembakaran & std. error yield) dengan nilai error minimum.

Tabel 6. Titik Optimum Percobaan

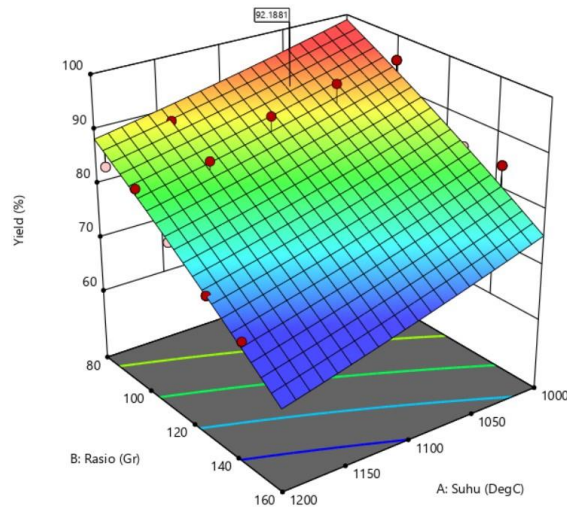
Number	Suhu	Rasio	Berat Pembakaran	StdErr(Berat Pembakaran)	Yield	StdErr(Yield)	Desirability
1	1067.648	90.653	83.411	0.953	92.188	0.820	0.782

Berdasarkan Tabel 6. Titik optimum pada percobaan melalui proses optimasi menggunakan model persamaan Quadratic didapatkan nilai standar error minimum pada berat pembakaran sebesar 0,824 dan standar error minimum yield sebesar 0,820, diperoleh titik optimum yang berada pada titik suhu 1067,648°C atau suhu 1050°C dengan berat sebesar 90,653 gram atau rasio (1 : 0,5).



Gambar 6. Grafik Contour Pengaruh Suhu dan Rasio Terhadap % Yield Produk

Pada Gambar 6. Didapatkan titik optimum hasil percobaan reaksi padatan CaO dengan SiO₂ pada titik suhu 1050 °C dengan rasio 1 : 0,5.



Gambar 7. Grafik 3D Pengaruh Suhu dan Rasio Terhadap % Yield

Pada Gambar 7. Diperoleh grafik 3d dari 2 faktor dengan 1 *response* (Yield). Grafik 3d yang diperoleh terdapat 3 warna yang berbeda, warna merah menandakan rendahnya persen yield produk yang disebabkan oleh pengaruh tingginya suhu dan rasio, warna hijau menandakan titik tengah yang dimana reaksi padatan yang dilakukan bereaksi dengan sempurna tanpa menyebabkan kehilangan berat pembakaran yang tinggi, warna biru menandakan rendahnya proses reaksi padatan yang menyebabkan reaksi 2 komponen tidak maksimal yang bisa disebabkan oleh suhu pada reaksi pencampuran.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Model analisis yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode RSM (*Response Surface Methodology*). Proses analisis dilakukan dengan 2 variabel bebas (suhu dan rasio) dengan 2 respon (berat pembakaran dan % yield produk), analisis dilakukan dengan menggunakan Anova untuk setiap *response* yang didapatkan model persamaan yang disarankan program berupa Quartic. Persamaan yang disarankan program masih terdapat VIF (*Variance Inflation Factors*) dari data melebihi 10 yang menyebabkan multikolinearitas. Permodelan yang digunakan untuk analisis optimasi dilakukan menggunakan permodelan Quadratic yang dimana pada permodelan ini tidak terdapat multikolinearitas dengan kata lain nilai VIF <10. Berdasarkan hasil optimasi menggunakan permodelan Quadratic didapatkan titik optimum pada percobaan berada pada suhu 1050°C dengan rasio pencampuran 1 : 0,5.

Saran

Semakin besar kemungkinan pada multikolinearitas antar variabel akan mengganggu hasil analisis regresi. Multikolinearitas dapat mengurangi keefektifan model dalam prediksi yang akurat dimana variabel yang berkorelasi tinggi akan mengalami redundansi. Dengan demikian, variabel dengan nilai VIF tinggi mungkin perlu diperhatikan lebih lanjut dalam analisis untuk mengurangi dampak multikolinearitas terhadap hasil regresi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada UD Batu Indah yang telah berkenan membantu memberikan sampel bahan baku untuk dilakukan penelitian, dan terimakasih kepada dosen pembimbing yang telah

membimbing dalam melaksanakan penelitian ini. Terima kasih kepada pihak-pihak lain yang terlibat secara tidak langsung.

REFERENSI

- Annisa, T. & Pertiwi, A. (2018). Biodentine pada pulpotomi vital gigi sulung : laporan kasus. *Indonesian Journal of Paediatric*. 1(2). 197–203.
- Haryono, dkk. (2018). Kalsium Silikat sebagai Bahan Komposit Biosemen Gigi dengan Penyiapan Silika dari Sekam Padi melalui Metode Sol-Gel. *Jurnal Kartika Kimia*. 1(1). 5–10.
- Husain, S., dkk., (2019). Synthesis and Characterization Of Calcium Silicate From Rice Husk Ash And Snail Shell. *Jurnal Neutrino*. 11(2). 45–51.
- Istiyati & Asmi, D., (2013). Fabrikasi dan Karakterisasi Keramik Kalsium Silikat dari Komposisi Cangkang Telur dan Silika Komersial dengan Reaksi Padatan pada Suhu 1300°C. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. 1(1). 37–42.
- Jamal, D. (2017). Multicollinearity and Regression Analysis. *Journal of Physics* 1 1(1). 4.
- Kharissova, O., Martinez, L. & Kharisov, B. (2021) *Handbook of Nanomaterials and Nanocomposites for Energy and Environmental Applications*. Switzerland: Springer Nature Switzerland AG.
- Leksono, E., (2007). Peningkatan Dan Penyeragaman Kualitas Batu Kapur Olahan Dengan Aplikasi Rancangan Kokoh Taguchi. *Jurnal Teknik Industri*. 8(2). 166–171.
- Noviyanti, Jasruddin & Sujiono, E., (2015). Karakterisasi Kalsium Karbonat ($\text{Ca}(\text{CO}_3)$) Dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 11(2). 169–172.
- Putri, N., Chasanah, Y., & Sari, Ni Ketut. (2023). Optimasi Kadar Bioetanol Dari Limbah Cair Tepung Terigu Menggunakan Response Surface Method (RSM). *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*. 8(3). 155-120.
- Rahmatullah, dkk. (2022). Pengaruh Suhu dan Waktu Pembakaran Terhadap Kadar Silika dari Abu Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia*. 9 (1). 995-1002.
- Rashid, R., dkk. (2014). Low Temperature Production Of Wollastonite From Limestone And Silica Sand Through Solid-State Reaction. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 2(1). 77–81.
- Ridwan, M., dkk. (2018). Mendeteksi dan Mengatasi Multikolinearitas pada Data Penelitian. *Prosiding Statistika*. 1(1). 66.
- Tasari, S., Iqbal & Badaruddin. (2019). Penentuan Lama Kalsinasi Kalsium Karbonat CaCO_3 dari Batu Kapur Tanjung Karang Donggala. *Gravitasi*. 18(2). 137–147.
- Udjiana, S. dkk. (2019). Pembuatan dan Karakterisasi Plastik Biodegradable dari Umbi Talas (*Xanthosoma sagittifolium*) dengan Penambahan Filler Kitosan dan Kalsium Silikat. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*. 2019(1). 10–19.
- Widiharih, T., (2001). Penanganan Multikolinearitas Dengan Analisis Regresi Komponen Utama. *Jurnal Matematika dan Kompute*. 4(2). 73-74.
- Yudha, S., dkk. (2020). Preliminary Synthesis Of Calcium Silicates Using Oil Palm Leaves And Eggshells. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*. 15(2). 561–567.
- Zahara, A., Bhername, G., & Harahap, M. (2020). Literature Review: Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Sintesis Katalis Heterogen Cao Dari Cangkang Telur. *Amina*. 2(2). 87-89.