

Optimasi Pengaruh Konsentrasi Pelarut NaOH dan Ukuran Partikel Abu Pada Silica Dioksida (SiO_2) dari Sekam Padi dengan *Response Surface Methodology*

Krisna Jonata Hardy ^{*}, Adhittha Wahyu Dewangga, Ni Ketut Sari

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

^{*}Koresponden email: krisnajonata@gmail.com

Diterima: 1 September 2025

Disetujui: 10 September 2025

Abstract

Silicon dioxide (SiO_2) is a high-value compound with various industrial applications, particularly as an adsorbent. Rice husk, an abundant agricultural byproduct, contains a high concentration of SiO_2 , making it a promising alternative raw material. This study aims to determine the optimal conditions for silica extraction from rice husk ash using an alkaline extraction method. The variables examined were NaOH concentration (2, 3, 4, 5, and 6 M) and rice husk ash particle size (30, 50, 150, and 200 mesh). The response analysis focused on water absorption capacity, while process optimization was carried out using Response Surface Methodology (RSM). The results showed that the optimum condition was achieved at 4 M NaOH concentration and 100-mesh particle size. Under this condition, the obtained silica exhibited a water absorption capacity of 808.32 mg/g, indicating high SiO_2 quality as reflected by its optimal adsorption capacity. The RSM optimization confirmed the high validity of the model, with good agreement between experimental and predicted data, demonstrating that this method is effective and reliable for producing high-quality silica from rice husk waste.

Keywords: rice husk; response surface methodology, silicon dioxide, adsorption capacity

Abstrak

Silika dioksida (SiO_2) merupakan senyawa bernilai tinggi dengan berbagai aplikasi industri, terutama sebagai adsorben. Sekam padi, yang merupakan limbah pertanian melimpah, diketahui mengandung SiO_2 dengan kadar sangat tinggi, sehingga berpotensi sebagai bahan baku alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimal ekstraksi silika dari abu sekam padi melalui metode ekstraksi basa. Variabel yang dikaji adalah konsentrasi pelarut NaOH (2, 3, 4, 5, dan 6 M) serta ukuran partikel abu sekam (30, 50, 150, dan 200 mesh). Analisis respon difokuskan pada kemampuan daya serap air, sedangkan optimasi proses dilakukan menggunakan Response Surface Methodology (RSM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi NaOH 4 M dan ukuran partikel abu sekam 100 mesh. Pada kondisi tersebut, hasil penelitian menunjukkan bahwa silika yang diperoleh memiliki kemampuan daya serap air sebesar 808,32 mg/g. Nilai tersebut menandakan kualitas silika dengan kadar SiO_2 yang tinggi, ditunjukkan melalui kapasitas adsorpsi yang optimal terhadap uap air. Hasil optimasi RSM menunjukkan validitas model yang tinggi dengan kesesuaian yang baik antara data eksperimen dan prediksi, mengonfirmasi bahwa metode ini efektif dan andal untuk memproduksi silika berkualitas tinggi dari limbah sekam padi.

Kata Kunci: sekam padi, response surface methodology, silica dioksida, daya serap

1. Pendahuluan

Sekam padi merupakan limbah hasil proses penggilingan padi atau limbah pertanian yang jumlahnya melimpah dan sering dijumpai di lingkungan. Proses dekomposisi alami sekam padi berlangsung lambat, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan serta berdampak negatif terhadap kesehatan manusia. Ummumnya, sekam padi hanya dibakar di lahanuntuk mengurangi volumenya, namun praktik ini justru memperburuk pencemaran udara. Pandangan masyarakat yang menganggap sekam padi tidak memiliki nilai ekonomis menyebabkan limbah ini jarang dimanfaatkan secara optimal [1]. Padahal, sekam padi mengandung senyawa bernilai tinggi, salah satunya silika dioksida (SiO_2) dengan kadar mencapai 86–97% [2], yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan silika. Pemanfaatan sekam padi sebagai sumber silika dapat dilakukan melalui berbagai metode, salah satunya metode sol-gel. Metode ini memanfaatkan natrium silikat hasil ekstraksi yang diubah menjadi silika menggunakan agen pengasam [3]. Keunggulan metode sol-gel terletak pada prosesnya yang relatif sederhana, waktu yang

efisien, serta kemampuannya menghasilkan silika dengan kemurnian tinggi. Silika yang dihasilkan memiliki peran penting pada berbagai bidang, termasuk sebagai material adsorben.

Kinerja silika sebagai adsorben sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimianya, salah satunya daya serap air. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI), daya serap minimum silika dioksida adalah 750 mg/g dengan kadar air maksimal 15%, sedangkan standar internasional mensyaratkan kadar SiO_2 minimal 95% dan kadar karbon kurang dari 0,3%. Variasi konsentrasi pelarut alkali NaOH dan ukuran partikel abu sekam diketahui dapat mempengaruhi kualitas silika, termasuk daya serapnya [4] [5] [6].

Daya serap atau kemampuan adsorpsi silika gel juga menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan. Silika dari sekam padi memiliki struktur berpori dengan luas permukaan yang tinggi, sehingga berpotensi digunakan sebagai adsorben. Kapasitas daya serap ini dipengaruhi oleh ukuran partikel serta tingkat kemurnian silika yang dihasilkan dari variasi konsentrasi pelarut pada proses sol-gel. Penelitian [7] melaporkan bahwa silika dari abu sekam padi memiliki daya serap terhadap logam Pb^{2+} sebesar 0,96 mg/g dan Cu^{2+} sebesar 0,83 mg/g dengan kemurnian 89,09%, yang meningkat menjadi 94,94% setelah perlakuan H_2SO_4 , menggunakan ukuran partikel 200 mesh dan konsentrasi NaOH 12%. Sementara itu, penelitian [8] menunjukkan bahwa pada variabel konsentrasi 3,5 N NaOH dengan ukuran partikel 200 mesh diperoleh daya serap uap air sebesar 883,00 mg/g.

Berdasarkan hal tersebut, Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum dalam proses ekstraksi silika dari abu sekam padi dengan memvariasikan konsentrasi larutan NaOH (2 M, 3 M, 4 M, 5 M, dan 6 M) dan ukuran partikel abu sekam (30 mesh, 50 mesh, 150 mesh, dan 200 mesh). Optimasi dilakukan menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) untuk memperoleh kombinasi parameter yang paling efektif, sehingga menghasilkan silika dioksida (SiO_2) dengan kemampuan daya serap air yang maksimal.

2. Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan baku utama yang digunakan adalah sekam padi yang diperoleh dari petani lokal di daerah Lamongan. Bahan kimia yang digunakan meliputi natrium hidroksida (NaOH), hidrogen klorida (HCl), dan akuades. Proses ekstraksi dan sintesis silika dari abu sekam padi dilakukan menggunakan rangkaian peralatan yang meliputi: satif, klem, kondensor, magnetic stirrer, termometer, labu leher tiga, wadah, dan hot plate magnetic stirrer.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan durasi pelaksanaan kurang lebih tiga bulan, bertempat di Laboratorium Riset Gedung Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

1) Persiapan Bahan Baku

Proses persiapan bahan dimulai dengan pencucian sekam padi melalui perendaman selama satu malam menggunakan akuades, diikuti pembilasan dengan akuades mengalir untuk menghilangkan kotoran dan pengotor lainnya. Sekam padi kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 1 jam hingga mencapai kondisi kering sempurna. Tahap berikutnya adalah pengabuan sekam menggunakan furnace pada suhu 600 °C selama 4 jam untuk menghilangkan komponen organik dan menghasilkan abu sekam padi yang kaya silika. Abu yang diperoleh selanjutnya diayak menggunakan ayakan berukuran 30, 50, 100, 150, dan 200 mesh untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel yang sesuai dengan rancangan penelitian.

2) Ekstraksi Silika

Sebanyak 5 gram abu sekam padi dimasukkan ke dalam labu leher tiga, kemudian ditambahkan 100 mL pelarut dengan variasi konsentrasi NaOH (M) sebagai variabel bebas, yaitu 2, 3, 4, 5, dan 6 M. Campuran tersebut dipanaskan pada suhu terkontrol 90–95 °C selama 1 jam sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm untuk memastikan kelarutan silika secara optimal. Proses ini menghasilkan campuran homogen yang kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman 42. Filtrat yang diperoleh merupakan larutan natrium silikat, yang selanjutnya digunakan pada tahap presipitasi silika.

3) Presipitasi Silika

Presipitasi dilakukan dengan menambahkan larutan asam klorida (HCl) 3 M secara bertahap (*dropwise*) ke dalam larutan natrium silikat hingga pH mencapai kondisi netral. Campuran kemudian didiamkan selama 24 jam untuk memungkinkan pembentukan endapan atau gel silika. Endapan yang terbentuk disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan fase padat dan

cair, lalu dicuci dengan akuades hingga bersih dari sisa ion pengotor. Padatan akhir dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 3 jam untuk menghasilkan silika kering siap untuk dianalisa.

4) **Uji Daya Serap Air**

Uji daya serap ini bertujuan untuk menentukan kemampuan silika dalam mengadsorpsi uap air pada kondisi kelembapan tinggi. Sebanyak 2 gram silika kering ditimbang dan dicatat sebagai massa awal (W_1). Sampel ditempatkan dalam wadah tertutup berisi air tanpa kontak langsung untuk menciptakan kelembapan tinggi. Setelah 24 jam, sampel diambil dan segera ditimbang untuk mendapatkan massa akhir (W_2).

Daya serap air dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Daya Serap Air} \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 1000 \quad (1)$$

5) **Analisis RSM (Response Surface Methode)**

Data hasil penelitian dianalisis menggunakan pendekatan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan *Central Composite Design* (CCD). Variabel bebas yang digunakan adalah konsentrasi NaOH (x_1) dan ukuran partikel abu sekam padi (x_2). Untuk meningkatkan akurasi dan meminimalkan kesalahan eksperimental, dilakukan lima kali pengulangan pada titik tengah desain percobaan. Respons yang diamati meliputi rendemen silika serta nilai daya serap air. Data dianalisis menggunakan metode analisis ragam (*Analysis of Variance/ANOVA*) untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing variabel dan interaksinya terhadap respons yang diamati. Optimasi kondisi ekstraksi dilakukan menggunakan perangkat lunak *Design Expert* versi 13 dengan fitur *numerical optimization*. Validasi model dilakukan dengan membandingkan nilai prediksi hasil optimasi dengan data eksperimen aktual untuk memastikan keakuratan model.

Berikut merupakan persamaan dari optimasi menggunakan RSM:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon \quad (2)$$

Keterangan :

x_1, x_2 = Variabel bebas

y = Response

ε = Error

3. Hasil dan Pembahasan

Uji Daya Serap Air

Hasil uji daya serap silika terhadap air menggunakan metode gravimetri disajikan pada Tabel 1. Data menunjukkan bahwa variasi konsentrasi NaOH dan ukuran partikel abu sekam padi memberikan pengaruh nyata terhadap kapasitas daya serap silika. Nilai daya serap tertinggi diperoleh pada kondisi konsentrasi NaOH 5 M dan ukuran partikel 100 mesh, yaitu sebesar 809,1061 mg/g. Sebaliknya, nilai daya serap terendah dicatat pada konsentrasi NaOH 2 M dan ukuran partikel 30 mesh, yaitu sebesar 604,1145 mg/g. Hasil ini konsisten dengan laporan [9] yang menemukan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH dari 5% menjadi 10% menghasilkan peningkatan luas permukaan silika dari 76,75 m²/g menjadi 236,2 m²/g serta penurunan diameter pori dari 15 nm menjadi 9 nm, yang mengindikasikan terbentuknya struktur mesopori yang lebih rapat dan bersih.

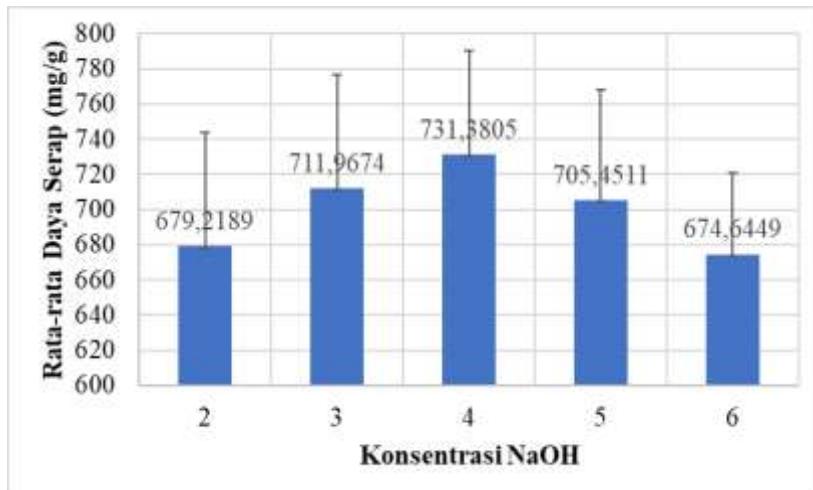
Studi [10] menjelaskan bahwa gugus silanol (Si-OH) pada permukaan internal silika berperan penting dalam pengikatan awal molekul air, diikuti oleh pengisian pori secara spontan akibat gaya tarik antarmolekul. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian [8], yang melaporkan bahwa silika dari *fly ash* dengan ukuran partikel 200 mesh dan konsentrasi NaOH 3,5 M memiliki daya serap sebesar 883,00 mg/g. Penelitian tersebut menegaskan bahwa luas permukaan spesifik yang besar meningkatkan jumlah situs aktif untuk mengikat molekul air, sehingga kapasitas daya serapnya meningkat.

Tabel 1. Hasil Uji Daya Serap Pada Berbagai Konsentrasi NaOH dan Ukuran Partikel.

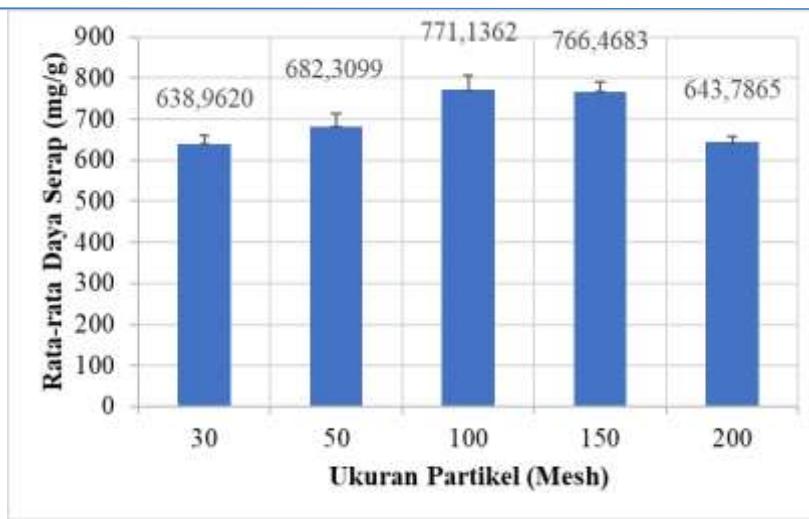
Konsentrasi NaOH (M)	Ukuran Partikel (Mesh)	Variabel Bebas		Daya Serap
		30	50	
2	30	604,1145		
	50		651,4724	
	150			762,3747

Variabel Bebas		Daya Serap
Konsentrasi NaOH (M)	Ukuran Partikel (Mesh)	
3	200	627,7673
	30	648,3396
	50	698,2038
	100	771,982
	150	801,0129
	200	640,2987
4	30	667,8676
	50	736,581
	100	808,3229
	150	782,3204
	200	661,8108
	30	644,4758
5	50	670,2694
	100	809,1061
	150	744,7264
	200	658,6779
	30	630,0125
	50	655,023
6	100	715,9043
	150	741,9069
	200	630,378

Uji Perhitungan Dari Daya Serap



Gambar 1. Diagram Error Bar antara Daya Serap dan Konsentrasi NaOH



Gambar 2 Diagram Error Bar antara Daya Serap dan Ukuran Partikel

Berdasarkan **Gambar 1** dan **Gambar 2** dapat diamati rata-rata daya serap (mg/g) dan sebaran data atau standar deviasinya pada proses yang melibatkan variasi konsentrasi pelarut NaOH dan ukuran partikel abu. Pada gambar IV. 7, rata-rata daya serap tertinggi diperoleh pada konsentrasi NaOH 4M, yaitu sebesar 731,3805 mg/g, dengan standar deviasi yang relatif besar dibandingkan beberapa titik lain. Daya serap terendah terlihat pada konsentrasi NaOH 6M dengan rata-rata 674,6449 mg/g. Standar deviasi terlihat paling kecil pada konsentrasi 6M, menunjukkan variasi data yang lebih rendah pada titik tersebut. Pada gambar 2, rata-rata daya serap tertinggi dicapai pada ukuran partikel 100 (Mesh), yaitu sebesar 771,1362 mg/g, dengan standar deviasi yang relatif kecil. Rata-rata daya serap juga tinggi pada ukuran partikel 150 (mesh) yaitu 766,4683 (mg/g). Sebaliknya, ukuran partikel 30 (Mesh) menunjukkan rata-rata daya serap terendah, yakni 638,9620 mg/g. Setiap parameter perlakuan ukuran partikel dan konsentrasi NaOH menunjukkan tingkat variasi data yang berbeda. Standar deviasi merepresentasikan tingkat penyebaran atau variasi suatu data. Semakin tinggi nilai standar deviasinya, maka semakin bervariasi data yang dihasilkan, menunjukkan akurasi data yang cenderung lebih rendah. Sebaliknya, nilai standar deviasi yang semakin kecil mengindikasikan variasi data yang lebih rendah dan akurasi data yang lebih tinggi [11].

Analisa Daya Serap Air Mengguakan RSM (Response Surface Methodology)

Response Surface Methodology (RSM) digunakan untuk mengoptimalkan daya serap SiO_2 terhadap air dengan memodelkan hubungan antara dua variabel bebas, yaitu konsentrasi pelarut NaOH dan variasi ukuran partikel abu (mesh). Rancangan percobaan menggunakan metode *Central Composite Design* (CCD) dengan satu *center point*, menghasilkan kebutuhan total 25 data eksperimen yang memuat kombinasi kedua faktor tersebut. Respons yang diukur pada setiap perlakuan adalah nilai daya serap air (mg/g). Dari 25 titik yang dirancang, dipilih 9 titik yang mendekati garis linier untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan RSM pada perangkat lunak *Design Expert 13*. Hasil analisis yang ditampilkan pada Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa model persamaan yang direkomendasikan untuk memprediksi daya serap adalah model kuadratik. Model ini memiliki nilai *Adjusted R²* dan *Predicted R²* dengan selisih 0,0321, yang berada di bawah batas toleransi 0,1, serta nilai R² dalam rentang 0,8–1.

Model linier juga memenuhi kriteria kelayakan dengan nilai *p-value* < 0,05. Sebaliknya, model *Cubic* tidak direkomendasikan karena berstatus *aliased*, yang menunjukkan bahwa parameter dalam model kubik tidak dapat diestimasi secara tepat. Selain itu, *Central Composite Design* (CCD) tidak mendukung model *Cubic*, sehingga perhitungan model tersebut tidak dapat digunakan secara valid pada rancangan dengan dua variable [12].

Tabel 2. Titik Sampel Mendekati Garis Linier

Konsentrasi NaOH (M)	Ukuran Partikel (Mesh)	Daya Serap
2	30	604,115
2	100	750,365
2	200	627,767
3	30	648,34
3	50	698,204
4	100	808,323
4	150	782,32
5	30	644,476
5	200	658,678

Tabel 3. Hasil Pengujian Model Statistik Respons Daya Serap

Source	Sequential p-value	adjusted R	Predicted R
linier	0,927	0,3001	-1,0601
2FI	0,9376	-0,558	-4,7208
Quadratic	0,0003	0,9885	0,8936
Cubic			Suggested Alised

Berdasarkan hasil analisis, model kuadratik dipilih sebagai model yang paling sesuai. Model ini menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,9885, yang menandakan bahwa variasi konsentrasi NaOH dan ukuran partikel abu sekam padi dapat menjelaskan hingga 98,85% variasi daya serap air. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan adanya korelasi yang sangat kuat antara hasil observasi dan prediksi model, sehingga model ini memberikan estimasi yang lebih akurat dibandingkan model lainnya.

Analisa ANOVA Respons Daya Serap Air RSM (Response Surface Methodology)

Tabel 4 menyajikan hasil *analysis of variance* (ANOVA) yang digunakan untuk menilai pengaruh konsentrasi pelarut NaOH dan variasi ukuran partikel abu sekam padi terhadap daya serap air. Dalam ANOVA, model dianggap signifikan apabila nilai *p-value* lebih kecil dari 0,05 (5%). Berdasarkan hasil analisis, pada data daya serap air, faktor konsentrasi pelarut NaOH memiliki *p-value* sebesar 0,5379 (< 53,79%), sedangkan variasi ukuran partikel abu menunjukkan nilai 0,1634 (< 16,34%). Nilai-nilai ini menunjukkan adanya perbedaan tingkat pengaruh antara kedua faktor terhadap respons yang diamati.

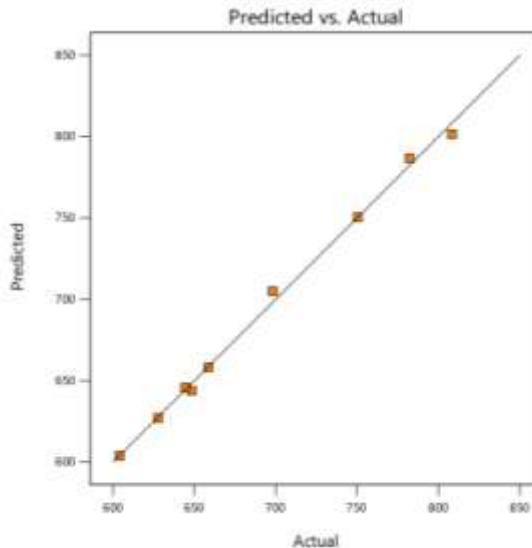
Model persamaan yang digunakan menunjukkan selisih antara nilai *Adjusted R²* dan *Predicted R²* tidak lebih dari 0,1, yang menandakan konsistensi dan kemampuan prediksi model yang baik. Nilai R^2 yang diperoleh berada pada kisaran 0,8–1, menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sebagian besar variasi data yang diamati [13]. Selain itu, rasio *adequate precision* berada jauh di atas batas minimum 4, sehingga mendukung keandalan model dalam membedakan sinyal dari *noise*.

Secara keseluruhan, hasil ANOVA ini mengindikasikan bahwa model yang digunakan memiliki tingkat akurasi, kesesuaian, dan presisi yang memadai untuk memprediksi respons. Hal ini menunjukkan bahwa model dapat diandalkan untuk memprediksi respons dan digunakan sebagai dasar dalam penentuan kondisi optimum.

Tabel 4. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) untuk Respons Daya Serap

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	42122,6	5	8424,51	190,5	0,0006	significant
A-C.NaOH	2,67	1	2,67	0,0603	0,8219	
B-U.Partikel	268,38	1	268,38	6,07	0,0906	
A	1078,49	1	1078,49	24,39	0,0159	
B	24657,6	1	24657,6	557,58	0,0002	
Residu	132,67	3	44,22			
Cor Total	42255,2	8				
R	0,9969					

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Adjusted R	0,9916				
Predicted R	0,8618				
Adeq Precision	36,405				



Gambar 3. Diagram Hubungan Predicted dan Actual Daya Serap

Berdasarkan **Gambar 3**, grafik *Predicted vs. Actual* menunjukkan hubungan antara nilai aktual hasil pengukuran dan nilai prediksi yang dihasilkan model. Sebanyak 9 titik data yang merepresentasikan respons aktual berada berdekatan dengan garis kenormalan, menandakan kesesuaian yang tinggi antara hasil eksperimen dan nilai prediksi. Kedekatan titik-titik data dengan garis kenormalan tersebut berkontribusi pada tingginya nilai koefisien determinasi (R^2), yang mengindikasikan kemampuan model dalam memprediksi respons secara akurat. Penelitian [14] menyatakan bahwa titik yang mendekati garis linier atau near-optimal point merupakan titik yang paling mendekati nilai optimal. Pada penelitian [15] juga menyatakan bahwa titik yang mendekati garis lurus pada grafik predik vs aktual akan menjadi bukti hubungan erat antara hasil eksperimen dan hasil prediksi.

Hubungan antara dua faktor, yaitu konsentrasi pelarut NaOH dan variasi ukuran partikel abu (mesh), dengan respons berupa daya serap SiO₂ terhadap air (mg/g) terlihat jelas pada grafik ini. Analisis parameter tersebut digunakan untuk mengoptimalkan proses ekstraksi sehingga diperoleh SiO₂ dengan kemampuan penyerapan uap air yang signifikan. Berdasarkan hasil optimasi menggunakan metode *Central Composite Design* (CCD) [16], diperoleh persamaan aktual yang digunakan untuk memprediksi respons daya serap air dengan mempertimbangkan faktor-faktor terkait, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$Y = 807,37 - 1,79A + 8,02B - 3,58AB - 52,23A^2 - 141,45B^2 \quad (3)$$

Keterangan =

Y= Daya Serap (mg/g)

A= Konsentrasi NaOH (M)

B= Ukuran Partikel (mesh)

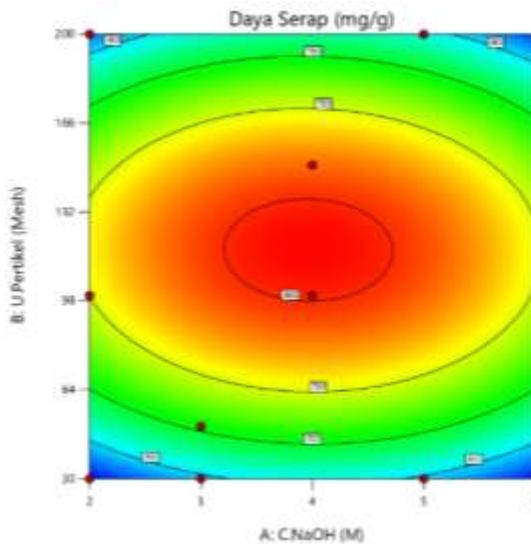
Pengaruh Variable Dengan Respons Daya Serap Air Pada RSM (Response Surface Methodology)

Analisis hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH dan ukuran partikel abu memberikan pengaruh yang nyata terhadap daya serap SiO₂ terhadap air, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**. Hubungan antara kedua faktor tersebut divisualisasikan melalui contour plot dan 3D surface plot, yang memperlihatkan pola distribusi daya serap pada berbagai kombinasi perlakuan. Representasi grafik ini memudahkan identifikasi kondisi optimum dari proses ekstraksi.

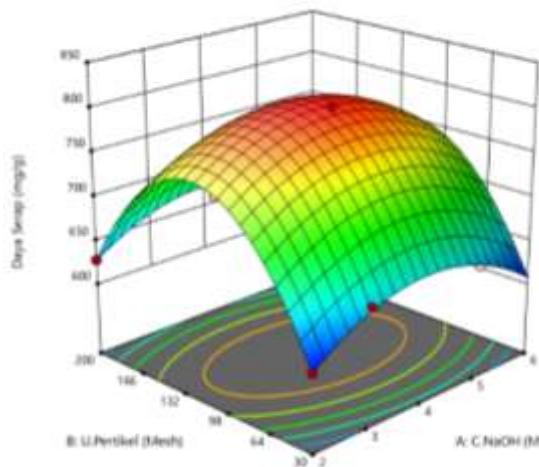
Nilai daya serap tertinggi dicapai pada kondisi konsentrasi NaOH 5 M dengan ukuran partikel 100 mesh, yaitu sebesar 809,11 mg/g. Sebaliknya, nilai terendah sebesar 604,11 mg/g diperoleh pada konsentrasi NaOH 2 M dengan ukuran partikel 30 mesh. Variasi antarperlakuan ini menunjukkan bahwa

setiap kombinasi faktor menghasilkan tingkat daya serap yang berbeda, dengan sebaran nilai yang cukup jelas pada kedua jenis grafik.

Gradasi warna pada grafik memperkuat perbedaan respons, di mana warna biru menunjukkan daya serap rendah, hijau menunjukkan tingkat sedang, dan merah menunjukkan nilai tertinggi [17]. Hasil ini secara keseluruhan menegaskan peran penting kombinasi konsentrasi NaOH dan ukuran partikel dalam menentukan kemampuan SiO_2 untuk menyerap air.



Gambar 4. Diagram Contour Plot Daya Serap



Gambar 5. Diagram 3D Surface Plot Daya Serap

Analisa Perbandingan Prediksi RSM (Response Surface Methodology) dan Hasil Uji Gravimetri

Optimasi respons dilakukan untuk menentukan kondisi terbaik pada proses ekstraksi silika sehingga diperoleh daya serap SiO_2 terhadap air yang maksimal. Parameter yang dioptimasi meliputi konsentrasi larutan NaOH dan ukuran partikel abu sekam padi. Proses optimasi dilakukan dengan menetapkan batas bawah (*lower limit*) dan batas atas (*upper limit*) yang telah ditentukan sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Analisis Ragam (ANOVA) untuk Respons Daya Serap

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit
A:C.NaOH	<i>is in range</i>	2 M	6 M
B:U.Partikel	<i>is in range</i>	30 Mesh	200 Mesh
Daya Serap	<i>maximize</i>	604,114 %	809,106 %

Analisis 15767 optimasi menggunakan perangkat lunak Design Expert 13 menghasilkan sejumlah solusi yang menunjukkan kombinasi faktor paling efektif. Pemilihan kondisi optimum dilakukan dengan

mempertimbangkan nilai *desirability* sebagai ukuran kecocokan model terhadap kriteria yang ditetapkan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya serap tertinggi dicapai pada konsentrasi NaOH 4 M dan ukuran partikel 150 mesh. Pada kondisi tersebut, nilai daya serap maksimum yang diperoleh adalah 807,504 mg/g, dengan nilai *desirability* sebesar 0,996. Nilai *desirability* yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hasil optimasi memiliki tingkat keakuratan yang sangat tinggi dalam memprediksi daya serap yang sesuai target [18].

Tabel 6. Solusi Titik Optimum dari Design Expert 13

C. NaOH (M)	U. Partikel (mesh)	Daya Serap (mg/g)	Desirability
4	100	807,504	0,996 selected

Tabel 7. Perbandingan Parameter Optimasi dari RSM (Response Surface Methodology) dan Uji Gravimetri

Parameter	Prediksi	Percobaan
C. NaOH	4	4
U. Partikel	100	100
Daya Serap	821,616	807,504

Berdasarkan **Tabel 7**, selisih antara kadar daya serap hasil percobaan dan hasil prediksi adalah sebesar 14,112 mg/g. Nilai selisih tersebut kemudian dibagi dengan 807,504 mg/g dan dikalikan 100%, sehingga diperoleh tingkat kesalahan sebesar 1,7% atau ekuivalen dengan 0,0174. Dengan tingkat signifikansi yang ditetapkan pada $P < 0,05$ dan $\alpha = 0,05$, nilai kesalahan sebesar 1,7% menunjukkan bahwa data hasil percobaan konsisten dengan nilai prediksi. Tingkat kesalahan yang lebih kecil dari $P < 0,05$ mengindikasikan bahwa hasil konfirmasi percobaan dapat diterima serta memiliki kesesuaian yang baik dengan model prediksi [19][20].

Tabel 8. Konfirmasi Model Untuk Parameter PI Low dan PI High

Analysis	Data Mean	95% PI Low	95% PI High
Daya Serap	807,504	782,066	832,941

Kadar daya serap yang diperoleh, yaitu 807,504 mg/g, berada dalam rentang 95% Prediction Interval (PI) dengan batas bawah (PI Low) sebesar 782,066 mg/g dan batas atas (PI High) sebesar 832,941 mg/g. Posisi nilai tersebut dalam interval kepercayaan menunjukkan bahwa hasil konfirmasi dapat diterima. Dengan demikian, persamaan (2) dapat digunakan untuk proses optimasi dalam menentukan kadar daya serap sesuai dengan penelitian ini. Selain itu, tidak diperlukan penyesuaian atau pengurangan terhadap faktor A maupun AB pada persamaan (2), karena hasil perhitungan telah konsisten dengan prediksi kondisi optimum..

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa konsentrasi NaOH dan ukuran partikel abu sekam padi berpengaruh signifikan terhadap daya serap silika dioksida (SiO_2). Kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi NaOH 4 M dan ukuran partikel 100 mesh dengan daya serap sebesar 808,3229 mg/g, yang telah memenuhi standar mutu SNI 06-2477-1991. Hasil optimasi menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) menghasilkan model kuadratik dengan akurasi tinggi, di mana nilai prediksi daya serap sesuai dengan hasil eksperimen. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan parameter proses yang tepat mampu menghasilkan silika dengan kemampuan penyerapan air yang optimal dari abu sekam padi.

5. Daftar Pustaka

- [1] Kosim, M.E., Siskayanti, R., Rusanti, W. D., 'Penentuan Konsentrasi NaOH Optimum pada Pembuatan Natrium Silikat dari Abu Sekam Padi'. Prosiding Seminar Nasional Penelitian LPPM UMJ, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2020. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit/article/download/8312/4954>.
- [2] Padang, A., Nurlaili, R., Meriatna, M., Sylvia, N., & Ibrahim, I., 'Analisa Suhu Dan Waktu Pembakaran Abu Sekam Padi Terhadap Hasil Silika Dari Proses Ekstraksi Menggunakan Pelarut NaOH'. Chemical Engineering Journal Storage, vol. 3, no. 2, pp. 216-225, 2023. <https://doi.org/10.29103/cejs.v3i2.9768>.

- [3] Handayani, P. A., Nurjanah, E., & Rengga W. D. P., 'Pemanfaatan Limbah Sekam Padi Menjadi Silika Gel'. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 4, no. 2, pp. 55-59, 2015. <https://doi.org/10.15294/jbat.v3i2.3698>.
- [4] Meriatna, M., Maulinda, L., Khalil, M., Zulmiardi, Z., 'Pengaruh Temperatur Pengeringan Dan Konsentrasi Asam Sitrat Pada Pembuatan Silika Gel Dari Sekam Padi'. *Jurnal Teknologi Kimia*, vol. 4, no. 1, pp. 78-88, 2015. <https://ojs.unimal.ac.id/jtk/article/view/65>.
- [5] Thahir, R., Widiyanti, S. E., Katu, I., & Idar, N. N., 'Ekstraksi dan Analisis Karakteristik Silika Dari Sekam Padi', Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat, vol. 1, no. 1, pp. 37-40, 2021 <https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/snp2m/article/viewFile/3235/2767>.
- [6] Mujiyanti, D. R., Aryani, D., & Paujiah, N., 'Kajian Variasi Konsentrasi NaOH Dalam Ekstraksi Silika Dari Limbah Sekam Padi Banjar Jenis Pandak'. *Sains Dan Terapan Kimia*, vol. 15, no. 2, pp. 143-155, 2021. <http://dx.doi.org/10.20527/jstk.v15i2.10373>.
- [7] Harimu, L., Rudi, L., Haetami, A., Santoso, G. A. P., & Asriyanti, 'Studi Variasi Konsentrasi NaOH dan H₂SO₄ Untuk Memurnikan Silika Dari Abu Sekam Padi Sebagai Adsorben Ion Logam Pb²⁺ DAN Cu²⁺', *Indonesia Journal of Chemical Research*, vol. 6, no. 2, pp. 81-87, 2019. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2019.6-lah>.
- [8] Fatimah, F., Turmuzi, M., Syam, Z. L., & Yunita, T. P. 'Pengaruh Konsentrasi Pelarut NaOH dan Waktu Aging pada Pembuatan Silika Gel dari Fly Ash Batu Bara'. *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 12, no. 2, pp. 124-131, 2023. <https://doi.org/10.32734/jtk.v12i2.13314>.
- [9] Dhaneswara, D., Fatriansyah, F. J., Situmorang, W. F., & Haqoh, N. A., 'Synthesis of Amorphous Silica from Rice Husk Ash: Comparing HCl and CH₃COOH Acidification Methods and Various Alkaline Concentrations'. *International Technology, Journal of Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 200-208, 2020. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i1.3335>.
- [10] Puibasset, J., & Pellenq, R. J.-M., 'Water Adsorption on Hydrophilic Mesoporous and Plane Silica Substrates: a Grand Canonical Monte Carlo Simulation study'. *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 15, no. 48, pp. 8405-8416, 2003. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/15/48/017>.
- [11] Andrade, C., 'Understanding the Difference Between Standard Deviation and Standard Error of the Mean, and Knowing When to Use Which', *Sage Journals*, vol. 42, no. 4, pp. 409-410, 2020. <https://doi.org/10.1177/0253717620933419>.
- [12] Sun, X., Liu, T., Jis, J., Chen., Z., & Shang, J., 'Multi-objective optimization design of the Hinge Sleeve of Cubic based on Kriging', *Science Progress Engineering & Technology*, vol. 106, no. 3, pp. 1-19, 2023. DOI: 10.1177/00368504231203108.
- [13] Cuello, R. G., Fernandez, J. H., & Toro, R. O., 'Response Surface Methodology-Based Optimization for Enhancing the Viability of Microencapsulated Lactobacillus plantarum in Composite Materials', *Journal of Composites Science*, vol. 9, no. 4, pp. 1-15, 2025. <https://doi.org/10.3390/jcs9040189>.
- [14] Neuman, F. & Brown, T., 'The Near-Optimal Feasible Space of a Renewable Power System Model', *ScienceDirect*, vol. 190, no. 1, pp. 1-8, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2020.106690>.
- [15] Adamu, M., Olutoye, M. A., Eterigho, E. J., & Yahya, M. D., 'Response Surface Methodology (RSM) Optimization And Characterization Of Silica Production From Bida Rice Husk', *MPRI-JNSAR*, vol. 7, no. 9, pp. 217-248, 2025. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2019.6-lah>
- [16] Bayuo, J., Abukari, M. A., & Ba, K. B. P., 'Optimization using central composite design (CCD) of response surface methodology (RSM) for biosorption of hexavalent chromium from aqueous media', *Applied Water Science*, vol. 10, no. 135, pp. 1-12, 2020. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01213-3>.
- [17] Fauzi, R., A., Widayanti, A., Perwitasari, S., D., N., & Nurhasanah, S. 'Optimasi Proses Pengeringan Terhadap Aktivitas Antioksidan Bunga Telang (Clitoria Ternatea) Menggunakan Metode Respon Permukaan', *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 23, no. 1, pp. 9-22, 2021. <https://doi.org/10.21776/ub.jtp.2022.023.01.2>
- [18] Akbar, N. D., Nugroho, A. K., & Martono, S., 'Review Article: Optimization Of Snedds Formulation By Simplex Lattice Design And Box Behnken Design'. *Jurnal Ilmiah Farmako Bahari*, vol. 13, no. 1, pp. 90-100, 2022. <https://doi.org/10.52434/jfb.v13i1.1216>.
- [19] Handayani, P. A., Dewi, I. K., & Prasetyo, A., 'Optimization of Drying Process for Production Red Ginger Granulated Palm Sugar Using Response Surface Methodology', *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 11, no. 1, pp. 8-16, 2022. <https://doi.org/10.15294/jbat.v11i1.36124>.
- [20] Nandini, A. A. S., Anugraha, R. A., Sjafrizal, T., & Muki, M. A., 'Applying Response Surface Methodology to Optimize the Performance of Longitudinal Vibration-Assisted Turning (L-VAT)', *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 9, no. 7, pp. 916-921, 2020. DOI : 10.17577/IJERTV9IS070376.