



Submitted : 10 April 2025

Revised : 16 May 2025

Accepted : 4 June 2025

## OPTIMASI PENGARUH KONSENTRASI ZAT ADITIF $\text{CuCl}_2$ DAN KECEPATAN PENGADUKAN TERHADAP PENGENDALIAN KRISTAL BARIUM SULFAT

Novel Karaman<sup>1\*</sup>, Kamaliatul Fajria<sup>2</sup>, Husna Zaka Anshori<sup>2</sup>, Susilowati Susilowati<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Ilmu Lingkungan, Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, 60294, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, 60294, Indonesia

\*Email: [novelkaraman58@gmail.com](mailto:novelkaraman58@gmail.com)

### Abstrak

Kristal barium sulfat merupakan padatan kristal yang melekat kuat pada permukaan material, sehingga pertumbuhan kristal barium sulfat perlu dikendalikan. Beberapa cara untuk mengurangi pembentukan kristal barium sulfat adalah dengan menambahkan zat aditif dan mengatur kecepatan pengadukan serta waktu pengadukan. Pada penelitian ini, digunakan model *Box-Behnken design* dengan *response surface methodology* untuk menentukan variabel penambahan zat aditif, kecepatan, dan waktu pengadukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi zat aditif  $\text{CuCl}_2$  (0, 12, dan 24 ppm), kecepatan pengadukan (0, 240, dan 480 rpm) dan waktu pengadukan (25, 75, dan 125 menit) terhadap berat kristal barium sulfat yang diperoleh. Kristal  $\text{BaSO}_4$  terbentuk dengan mereaksikan antara larutan  $\text{BaCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  pada suhu  $50^\circ\text{C}$ . Hasil penelitian menghasilkan model matematika yang dapat memprediksi kondisi optimum untuk memperoleh berat kristal barium sulfat yang kecil. Kondisi optimum yang diperoleh adalah berat kristal barium sulfat sebesar 0,2393 gram dengan konsentrasi  $\text{CuCl}_2$  sebesar 24 ppm, kecepatan pengadukan 77 rpm, dan waktu pengadukan selama 54 menit.

**Kata Kunci:** Barium sulfat; *Box-Behnken design*;  $\text{CuCl}_2$ ; *Response surface methodology*

### Abstract

*Barium sulfate crystals are crystalline solids that adhere firmly to the material's surface, so the growth of barium sulfate crystals needs to be controlled. Some methods to reduce the formation of barium sulfate crystals are adding additives and regulating the stirring speed and time. This study used a Box-Behnken design model with a response surface methodology to determine the variables of additive addition, stirring speed and time. This study aims to assess the effect of  $\text{CuCl}_2$  additive concentration (0, 12, and 24 ppm), stirring speed (0, 240, and 480 rpm) and stirring time (25, 75, and 125 minutes) on the weight of barium sulfate crystals obtained.  $\text{BaSO}_4$  crystal is formed by reacting a solution of  $\text{BaCl}_2$  and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  at a temperature of  $50^\circ\text{C}$ . The study's results produced a mathematical model that can predict the optimal conditions for obtaining a minimal barium sulfate crystal weight. The optimum condition obtained was the weight of barium sulfate crystals of 0.2393 grams with a  $\text{CuCl}_2$  concentration of 24 ppm, a stirring speed of 77 rpm, and a stirring time of 54 minutes.*

**Keywords:** Barium Sulfate; *Box-Behnken design*;  $\text{CuCl}_2$ ; *Response surface methodology*

### 1. PENDAHULUAN

Kristal barium sulfat merupakan padatan yang melekat kuat pada permukaan material (Fairiza et al., 2023). Kelarutannya yang rendah menyebabkan kristal

ini mudah terbentuk ketika ion barium dan sulfat terdapat dalam air. Keberadaan kristal ini dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran pipa di berbagai industri, seperti industri pengolahan air dan

minyak bumi. Dalam industri tersebut, pembentukan  $\text{BaSO}_4$  dapat terjadi ketika ion  $\text{Ba}^{2+}$  dalam air formasi bereaksi dengan ion  $\text{SO}_4^{2-}$  yang digunakan dalam injeksi air, sehingga membentuk kerak yang dapat menyumbat saluran pipa. Meskipun barium sulfat bukan merupakan pengotor yang umum dalam pengolahan air domestik, pada lingkungan industri, endapan ini dapat mempersempit diameter pipa dan menghambat aliran fluida (Fatra et al., 2017). Oleh karena itu, pengendalian pertumbuhan kristal barium sulfat menjadi sangat penting. Salah satu metode untuk menghambat pembentukan kristal ini adalah dengan menambahkan zat aditif yang dapat mengganggu pertumbuhannya (Fairiza et al., 2023). Beberapa penelitian sebelumnya telah mengevaluasi penggunaan ion logam lain seperti seng ( $\text{Zn}^{2+}$ ) dan magnesium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) sebagai aditif untuk menghambat pertumbuhan kristal barium sulfat maupun kristal logam alkali tanah lainnya (Zhang et al., 2020). Selain itu, penelitian oleh Susilowati et al. (2024) menunjukkan bahwa pengadukan dan konsentrasi  $\text{ZnCl}_2$  berpengaruh signifikan terhadap pembentukan kristal barium sulfat dalam metode kristalisasi batch. Studi tersebut memperkuat pentingnya pengendalian faktor proses dalam upaya mengoptimalkan hasil kristal. Dalam penelitian ini, tembaga klorida digunakan sebagai zat aditif karena ion tembaga ( $\text{Cu}^{2+}$ ) dapat berikatan dengan ion sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) membentuk tembaga sulfat ( $\text{CuSO}_4$ ), yang memiliki kelarutan tinggi dalam air (Ngatin & Sihombing, 2021). Selain itu, pengendalian kristal barium sulfat dilakukan dengan mempertimbangkan tiga faktor utama, yaitu konsentrasi zat aditif, kecepatan pengadukan, dan waktu pengadukan. Ketiga faktor ini dioptimalkan menggunakan model *Box-Behnken design* dalam pendekatan *response surface methodology* (RSM).

RSM adalah metode optimasi yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh dua atau lebih faktor terhadap suatu respons, dengan mempertimbangkan interaksi antar faktor guna mencapai kondisi optimal dalam pengendalian kristal barium sulfat (Agustian et al., 2018). Model *Box-Behnken design* dipilih karena lebih efisien (Nursal et al., 2019), selain itu tidak memerlukan banyak data eksperimen maupun waktu yang lama, tetapi tetap memungkinkan analisis interaksi antar parameter (Wyantuti et al., 2020). Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih banyak menggunakan metode satu variabel dalam studi kristalisasi barium sulfat (Ngatin & Sihombing, 2021), penelitian ini menawarkan pendekatan multivariat untuk mengoptimalkan proses secara menyeluruh. Selain itu, penambahan  $\text{Cu}^{2+}$  sebagai aditif dalam sistem kristalisasi barium sulfat dengan pendekatan BBD-RSM belum banyak diteliti, sehingga menjadi nilai kebaruan dalam studi ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi zat aditif  $\text{CuCl}_2$ , kecepatan pengadukan, dan waktu pencampuran terhadap pengendalian kristal barium sulfat menggunakan RSM, dengan harapan menemukan kondisi optimum untuk meminimalkan pembentukan kristal dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut.

## 2. BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan yaitu barium klorida dan natrium sulfat (*analytical grade*, Merck) sebagai bahan untuk membentuk kristal barium sulfat. Tembaga klorida ( $\text{CuCl}_2$ ) (*analytical grade*, Merck) sebagai zat aditif dan akuades sebagai pelarut.

### 2.1 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Material Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, UPN "Veteran" Jawa Timur, Surabaya.

#### 2.1.1 Pembuatan larutan

Larutan barium klorida dan natrium sulfat masing-masing dibuat dengan konsentrasi 3000 ppm, sedangkan larutan zat aditif berupa tembaga klorida disiapkan dengan konsentrasi yang telah ditentukan, yaitu 0, 12, dan 24 ppm.

#### 2.1.2 Proses pengadukan

Sebanyak 50 mL larutan barium klorida dan 50 mL larutan natrium sulfat dimasukkan ke dalam buret yang berbeda. Pengadukan dilakukan dalam gelas piala dengan penambahan 5 mL larutan zat aditif pada awal pengadukan. Percobaan ini dilakukan dengan memperhatikan tiga faktor utama, yaitu konsentrasi zat aditif, kecepatan pengadukan, dan waktu pengadukan.

#### 2.1.3 Proses filtrasi dan pengeringan kristal

Setelah reaksi berlangsung, larutan barium sulfat yang terbentuk kemudian disaring untuk memperoleh kristal dan filtrat. Kristal hasil penyaringan dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama waktu tertentu hingga kering. Setelah dikeringkan, kristal ditimbang untuk memperoleh data berat barium sulfat yang terbentuk.

#### 2.1.4 Analisis *response surface methodology*

Berat kristal barium sulfat yang diperoleh akan dioptimasi menggunakan metode RSM untuk menentukan kondisi optimal dalam meminimalkan pertumbuhan kristal barium sulfat.

## 2.2 Karakterisasi Kristal

### 2.2.1 Analisis SEM-EDX

Analisis *scanning electron microscopy* (SEM) dengan *energy dispersive x-ray spectroscopy* (EDX) digunakan untuk mempelajari morfologi permukaan kristal barium sulfat serta menentukan komposisi unsur-unsur yang ada dalam kristal barium sulfat.

### 2.2.2 Analisis *x-ray diffraction* (XRD)

Analisis XRD digunakan untuk menentukan struktur kristalografi serta pola difraksi dari kristal barium sulfat yang dihasilkan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh dari konsentrasi zat aditif  $\text{CuCl}_2$ , kecepatan pengadukan, dan waktu pengadukan dinilai melalui 15 perlakuan yang hasilnya tersaji pada Tabel 1. Perlakuan ini dianalisis dengan uji ANOVA, yang

kemudian digunakan untuk menghasilkan model matematis yang menjelaskan hubungan antara ketiga faktor tersebut dan respons berupa berat kristal barium sulfat.

**Tabel 1.** Berat kristal barium sulfat (respons) untuk berbagai faktor

Konsentrasi CuCl <sub>2</sub> (ppm)	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Waktu Pengadukan (menit)	Berat kristal BaSO <sub>4</sub> (gram)
0	0	75	0,2690
24	0	75	0,2387
0	480	75	0,2687
24	480	75	0,2512
0	240	25	0,2645
24	240	25	0,2332
0	240	125	0,2793
24	240	125	0,2487
12	0	25	0,2476
12	480	25	0,2611
12	0	125	0,2511
12	480	125	0,2711
12	240	75	0,2461
12	240	75	0,2432
12	240	75	0,2487

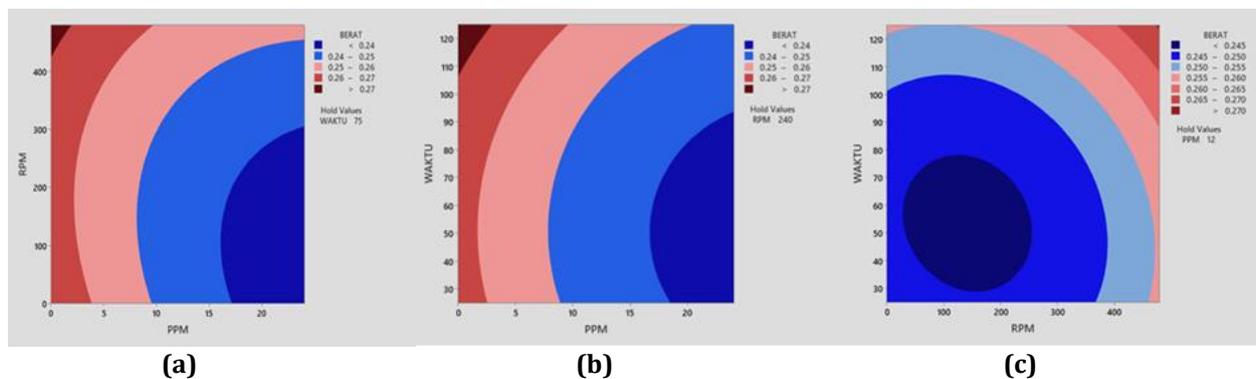
Berdasarkan Tabel 2, didapatkan hasil bahwa nilai-p dari keseluruhan model yaitu sebesar 0,011 atau < 0,05, yang artinya faktor percobaan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap perolehan berat kristal barium sulfat (Sari, 2016). Pada uji *lack of fit*, didapatkan hasil nilai-p sebesar 0,167. Menurut

Ratnawati et al. (2018), nilai yang lebih besar dari 0,05 menandakan bahwa model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kondisi optimal dari respons. Koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) berfungsi sebagai indikator sejauh mana model mampu menjelaskan keterkaitan antara parameter proses dengan respons yang diamati (Putro & Mustapha, 2013). Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai R<sup>2</sup> sebesar 94,69%, yang menunjukkan bahwa 94,69% variasi respons dapat dijelaskan oleh model, sementara 5,31% sisanya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model. Faktor-faktor lain di luar model yang mungkin memengaruhi berasal dari ketidakterkendalian kondisi lingkungan seperti fluktuasi suhu ruangan atau kelembapan, yang dapat memengaruhi laju reaksi selama proses pembentukan kristal berlangsung (Ariyantini, 2017). Dari ketiga faktor yang diteliti, konsentrasi zat aditif CuCl<sub>2</sub> memberikan pengaruh paling besar dibandingkan faktor lainnya. Hal tersebut didasarkan pada nilai-p yang lebih kecil.

Pada Gambar 1a, terlihat bahwa konsentrasi zat aditif CuCl<sub>2</sub> dan kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap berat kristal barium sulfat yang diperoleh. Peningkatan konsentrasi CuCl<sub>2</sub> disertai dengan kecepatan pengadukan yang rendah menyebabkan penurunan berat kristal yang terbentuk. Hal ini terjadi karena penambahan konsentrasi zat aditif berperan sebagai substitusi yang menghambat laju pertumbuhan kristal barium sulfat, sehingga jumlah kristal yang dihasilkan semakin sedikit. Akibatnya, semakin tinggi konsentrasi zat aditif, semakin rendah perolehan kristal barium sulfat (Prayuga, 2022). Pada Gambar 1b terdapat hubungan antara konsentrasi CuCl<sub>2</sub> dan waktu pengadukan yang menunjukkan bahwa berat kristal barium sulfat mengalami penurunan seiring dengan berkurangnya waktu pengadukan.

**Tabel 2.** Hasil *analysis of variance* (ANOVA) respons kristal barium sulfat

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	0.002351	0.000261	9.9	0.011
Konsentrasi Zat Aditif (ppm)	1	0.001503	0.001503	56.98	0.001
Kecepatan Pengadukan (rpm)	1	0.000261	0.000261	9.91	0.025
Waktu (menit)	1	0.00024	0.00024	9.09	0.03
Lack of Fit	3	0.000117	0.000039	5.14	0.167
R <sup>2</sup> = 0.9469					



**Gambar 1.** Hasil *analysis of variance* (ANOVA) respons kristal barium sulfat terhadap (a) Konsentrasi aditif CuCl<sub>2</sub> dan kecepatan pengadukan, (b) Konsentrasi aditif CuCl<sub>2</sub> dan waktu pengadukan, (c) Kecepatan dan waktu pengadukan

Menurut Parahita (2018), peningkatan durasi pengadukan berkontribusi terhadap intensifikasi interaksi antar partikel dalam larutan, yang secara signifikan memperbesar kemungkinan terbentuknya inti kristal serta mempercepat laju pertumbuhan kristal tersebut. Selain itu, pengaruh kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan (Gambar 1c) menunjukkan bahwa massa kristal barium sulfat mengalami penurunan saat kecepatan pengadukan dikurangi. Meningkatnya kecepatan pengadukan dapat mempercepat reaksi antara ion barium dan sulfat dengan meningkatkan frekuensi tumbukan antar partikel dalam larutan, sehingga mempercepat pembentukan inti kristal (Susilowati et al., 2024).

Persamaan dari model polinomial kuadrat (persamaan 1) yang diperoleh melalui pengolahan data menggunakan software Minitab 19 menunjukkan bagaimana masing-masing faktor memengaruhi respons berat kristal.

$$\begin{aligned} \text{Berat Kristal (g)} = & 0.27524 - 0.002232 y_1 - 0.000051 y_2 \\ & + 0.000146 y_3 + 0.000033 y_1 * y_1 + \\ & 0.000000 y_2 * y_2 + 0.000002 y_3 * y_3 + \\ & 0.000001 y_1 * y_2 + 0.000000 y_1 * y_3 + \\ & 0.000000 y_2 * y_3 \end{aligned} \quad (1)$$

Dalam persamaan tersebut,  $y_1$  merepresentasikan konsentrasi zat aditif  $\text{CuCl}_2$  (ppm),  $y_2$  menyatakan kecepatan pengadukan (rpm), dan  $y_3$  menunjukkan waktu pengadukan (menit). Persamaan ini digunakan untuk menentukan nilai optimal dari masing-masing faktor yang hasilnya tersaji pada Tabel 3. Hasil optimal yang diperoleh melalui metode RSM selanjutnya divalidasi dengan hasil eksperimen laboratorium. Perbandingan antara kedua hasil tersebut dilakukan untuk menghitung persentase kesalahan (% galat).

**Tabel 3.** Kondisi optimum

Faktor	Hasil Optimum	Berat Kristal (gram)
Konsentrasi zat aditif	24	
Kecepatan pengadukan	77	0,2393
Waktu	54	

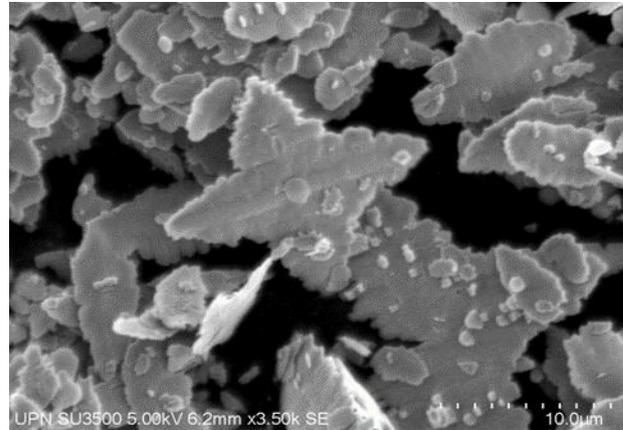
**Tabel 4.** Validasi hasil optimasi RSM dengan zat aditif  $\text{CuCl}_2$

Hasil Optimum (gram)	Hasil percobaan (gram)	Galat (%)
0,2393	0,2407	3,928%

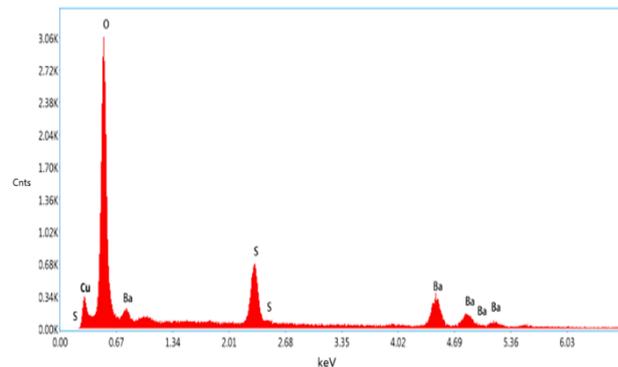
Perbandingan hasil percobaan dengan hasil optimum pada Tabel 4 menunjukkan berat kristal sebesar 0,2393 gram. Berdasarkan perhitungan, persentase galat yang diperoleh adalah 3,928% atau 0,03928. Karena nilai galat ini lebih kecil dari 5% ( $P < 0,05$ ), data hasil percobaan dinyatakan sesuai dengan prediksi. Nilai galat yang rendah menunjukkan bahwa hasil konfirmasi percobaan dapat diterima dan konsisten dengan hasil prediksi (Hidayat et al., 2021).

**3.1 Analisis Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray**

Hasil uji analisis karakteristik kristal barium sulfat menggunakan SEM-EDX menunjukkan morfologi (Gambar 2) serta komposisi unsur yang terkandung dalam kristal tersebut (Gambar 3). Detail hasil analisis EDX dapat dilihat pada Tabel 5.



**Gambar 2.** Morfologi kristal barium sulfat pada perbesaran 3500x

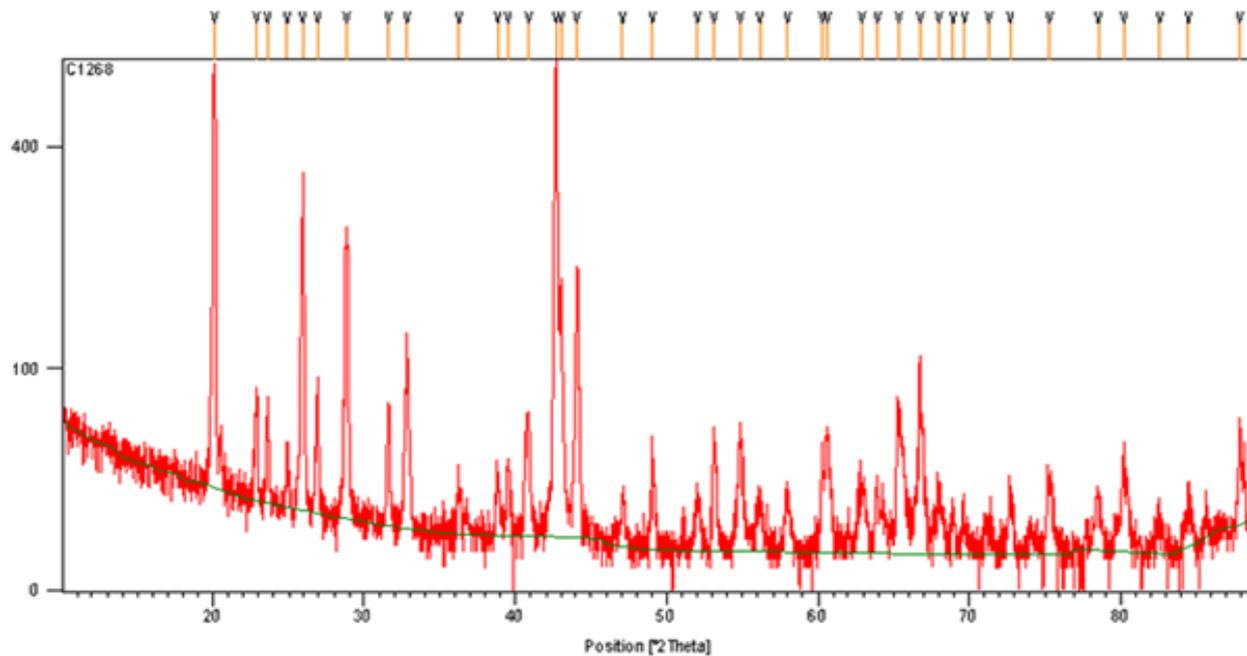


**Gambar 3.** Analisis EDX endapan barium sulfat

**Tabel 5.** Hasil analisis EDX kristal barium sulfat

Elemen	Berat (%)
Cu	4,9
Barium (Ba)	60,33
Sulfur (S)	10,72
Oksigen (O)	24,06

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 5, diperoleh informasi komposisi kristal barium sulfat yang mengindikasikan bahwa barium sulfat merupakan senyawa utama dalam sampel. Keberadaan Cu dalam sampel menunjukkan bahwa ion  $\text{Cu}^{2+}$  telah berhasil berinteraksi dengan  $\text{BaSO}_4$ . Mekanisme interaksinya melalui substitusi ion dalam sistem reaksi pembentukan barium sulfat di mana ion  $\text{Cu}^{2+}$  berperan sebagai kation pengganti  $\text{Ba}^{2+}$ . Kemampuan  $\text{Cu}^{2+}$  untuk menggantikan  $\text{Ba}^{2+}$  disebabkan oleh kesamaan muatan keduanya (+2), Ion  $\text{Ba}^{2+}$  memiliki jari-jari ionik yang relatif besar karena terletak di golongan 2 (alkali tanah) dan periode 6, sehingga memiliki kulit elektron yang banyak, sedangkan ion  $\text{Cu}^{2+}$  memiliki jari-jari



**Gambar 4.** Pola XRD kristal barium sulfat

ionik yang lebih kecil karena merupakan logam transisi dengan konfigurasi elektron yang lebih kompak. Meskipun terdapat perbedaan ukuran, substitusi tetap terjadi karena struktur kristal  $\text{BaSO}_4$  memiliki fleksibilitas yang cukup untuk mengakomodasi ion yang lebih kecil tanpa menyebabkan destabilisasi signifikan pada kisi kristal. Ion  $\text{Cu}^{2+}$  dapat berikatan dengan  $\text{SO}_4^{2-}$ , sehingga tetap berada dalam larutan dan mencegah terjadinya pengendapan (Alida & Fandra, 2019). Kelarutan  $\text{CuSO}_4$  dalam air sangat tinggi, berbeda dengan  $\text{BaSO}_4$  yang memiliki kelarutan sangat rendah. Oleh karena itu, ketika  $\text{Cu}^{2+}$  menggantikan  $\text{Ba}^{2+}$ , senyawa yang terbentuk akan larut dalam air, sehingga tidak terjadi pengendapan.

### 3.2 Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi menggunakan XRD dilakukan untuk memverifikasi apakah struktur  $\text{BaSO}_4$  telah terbentuk, serta untuk menganalisis struktur dan komposisi kristal yang terbentuk. Gambar 4 menunjukkan kristal tersebut memiliki fase kristal barit dengan struktur ortorombik, dengan parameter sel satuan  $a = 7,1570 \text{ \AA}$ ,  $b = 8,8840 \text{ \AA}$  dan  $c = 5,4570 \text{ \AA}$ . Puncak difraksi paling dominan terletak pada sudut  $2\theta$  sekitar  $42,6750^\circ$  dengan intensitas 570,68 cps. Puncak ini menunjukkan keberadaan mineral barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) dan sesuai dengan puncak karakteristik dari struktur barit berdasarkan JCPDS No. 24-1035. Lebar penuh pada setengah maksimum (full width at half maximum - FWHM) adalah  $0,1574^\circ$ , yang mengindikasikan kristalinitas yang baik. Selain puncak  $\text{BaSO}_4$ , terdeteksi pula puncak kecil yang mengindikasikan adanya senyawa  $\text{CuSO}_4$  sebagai impuritas, dengan intensitas yang lebih rendah dibanding puncak utama  $\text{BaSO}_4$ . Hal ini menunjukkan bahwa puncak yang muncul tidak hanya berasal dari satu senyawa, tetapi mencerminkan campuran dari keduanya.

### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum tercapai pada konsentrasi zat aditif  $\text{CuCl}_2$  sebesar 24 ppm, kecepatan pengadukan 77 rpm, dan waktu pengadukan 54 menit, dengan berat kristal yang dihasilkan mencapai 0,2393 gram. Kondisi optimum ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu konsentrasi zat aditif, kecepatan pengadukan, dan waktu pengadukan. Peningkatan konsentrasi zat aditif menyebabkan berkurangnya pembentukan kristal barium sulfat, sehingga jumlah kristal yang dihasilkan lebih sedikit. Sebaliknya, semakin tinggi kecepatan pengadukan dan semakin lama waktu pengadukan, semakin banyak kristal barium sulfat yang terbentuk.

### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, J., Hermida, L., & Murtadho, P. S. (2018). Optimasi proses hidrolisis pati tapioka menggunakan glukoamilase terimobilisasi pada silika MCF 9.2 T-3D berdasarkan response surface methodology (box-behnken design). *Jurnal Teknik*, pp. 1-7.
- Alida, R. & Fandra, P. (2019). Penanggulangan scale  $\text{CaCO}_3$  pada sumur PF1 Lapangan 26 di PT Pertamina EP Asset 2 Field Limau. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 9(02), pp. 35-45.
- Ariyantini, N. L. P. E (2017). Optimasi jaringan akses fiber to the home dengan menggunakan metode multiresponse syrface dan desirability function di PT TKM. *Journal of Technology Science and Engineering*, 1(3).
- Fatra, F., Ivanto, G., Dera, N. S., Muryanto, S., Bayuseno, A. P. (2017). The scale formation of barite ( $\text{BaSO}_4$ ) from laminar flowing water in the presence of tartaric acid and  $\text{Ba}^{2+}$  concentration variation of solution. *Jurnal Materials Science and Engineering*, 202(1).

- Fairiza, H., Khanifah, A., & Karaman, N. (2023). Karakteristik kristal barium sulfat dengan penambahan aditif magnesium klorida. Seminar Nasional Soebardjo Brotohardjono, pp. 38–41.
- Hidayat, I. R., Zuhrotun, A., & Sopyan, I. (2021). Design-expert software sebagai alat optimasi formulasi sediaan farmasi. *Majalah Farmasetika*, 6(1), 99-120.
- Ngatin, A., & Sihombing, R. P. (2021). Konversi zink dari limbah baterai Zn-C menjadi senyawa seng sulfat. *6573*, 13-17.
- Nursal, F. K., Sumirtapura, Y. C., Suciati, T., & Kartasasmita, R. E. (2019). Optimasi nanoemulsi natrium askorbil fosfat melalui pendekatan design of experiment (Metode Box Behnken). *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 6(3), 228-236.
- Parahita, C. K. (2018). Pengaruh waktu pengadukan dan pengambilan sampel larutan  $\text{CaCO}_3$  4% Terhadap Jumlah Endapan pada alat filter press. *Jurnal Inovasi Proses*, 3(1), 7-9.
- Prayuga, A.R. (2022). Pembentukan kristal barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ) dengan metode batch kristalizer. Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono XVIII, 1(1).
- Putro, R & Mustapha, K. (2013). analisis pengaruh brand reputation, brand competence dan brand liking terhadap trust in brand pada konsumen windows phone nokia di Surabaya. *Jurnal Studi Manajemen & Organisasi*, 1(2), pp. 178-185.
- Ratnawati, S. E., Ekantari, N., Pradipta, R. W., & Paramita, B. L. (2018). Aplikasi response surface methodology (RSM) pada optimasi ekstraksi kalsium tulang lele. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 20(1), 41-48.
- Sari. (2016). Pengaruh kecepatan pengadukan dan perbandingan molar reaktan  $\text{Mg:PO}_4$  pada pembentukan struvite kristal dari urine manusia [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Palembang]. Palembang, Indonesia.
- Susilowati, S., Aqil, U., Wibowo, G., & Karaman, N. (2024). Pengaruh pengadukan dan konsentrasi  $\text{ZnCl}_2$  pada pembentukan kristal barium sulfat dengan metode batch kristalisasi. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 9(2), 92-97.
- Wyantuti, S., Aristantia, R., Hartati, Y. W., & Bahti, H. H. (2020). Penerapan desain eksperimen plackett-burman dan box-behnken pada analisis voltametri pulsa diferensial untuk penentuan kadar senyawa kompleks Gd-DTPA. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 16(1), 140-151.
- Zhang, H., Hu, D., Zhong, D., Huang, C., Yuan, S., You, D., ... & Wan, Y. (2020). The effect of diffusion barrier on minority carrier lifetime improvement of seed assisted cast silicon ingot. *Journal of Crystal Growth*, 541, 125684.