G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan
Vol. 8, No. 3, Juli 2024, hlmn.1931-1939
E-ISSN: 2623-064X | P-ISSN: 2580-8737

Pembuatan Tembaga Sulfat dari Limbah Padat Tembaga dengan Proses Kristalisasi Panas

Lailly Amaretha Kusuma Wardhani[1]✉, Tiffanie Dewi Arifilla[2], Novel Karaman[3]

[1, 2, 3] Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 18-06-2024
Direvisi : 27-06-2024
Diterima : 30-06-2024

ABSTRAK

Pembuatan tembaga sulfat dengan proses kristalisasi memiliki dua cara yaitu kristalisasi dingin dan kristalisasi panas. Proses kristalisasi dingin memerlukan waktu yang cukup lama dibandingkan dengan kristalisasi panas untuk menghasilkan kristal tembaga sulfat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai pembentukan kristal terbaik dengan kristalisasi panas menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan metode *Composite Central Design* (CCD) kemudian kristal diidentifikasi menggunakan analisa *X-Ray Fluorescence* (XRF). Metode kristalisasi panas pada suhu 90°C dengan kecepatan pengadukan 500rpm menggunakan variasi waktu reaksi dan konsentrasi asam sulfat. waktu reaksi yang digunakan yaitu 50, 55, 60, 65, dan 70 menit dan konsentrasi asam sulfat sebesar 10%, 12%, 14%, 16%, dan 18%. Massa kristal tembaga sulfat terbanyak didapatkan sebesar 5,3908gram pada variasi waktu reaksi 70 menit dan konsentrasi asam sulfat 18% dengan unsur kimia terbanyak dalam kristal yaitu Cu sebesar 76,06%.

Kata Kunci:

Tembaga, Kristalisasi, *Respone Surface Methodology.*

Keywords **:**

Copper, Crystallization, Respone surface methodology.

ABSTRACT

The production of copper sulfate through the crystallization process has two methods, namely cold crystallization and hot crystallization. The cold crystallization process takes a longer time compared to hot crystallization to produce copper sulfate crystals. This research aims to determine the value of the best crystal formation by hot crystallization using Response Surface Methodology with the Composite Central Design (CCD) method, then the crystals are identified using XRF (X-Ray Fluorescence) analysis. The hot crystallization method at a temperature of 90°C with a stirring speed of 500 rpm was used with variations in reaction time and sulfuric acid concentration. The reaction times used were 50, 55, 60, 65, and 70 minutes, and the sulfuric acid concentrations were 10%, 12%, 14%, 16%, and 18%. The highest mass of copper sulfate crystals obtained was 5.3908 grams with a reaction time of 70 minutes and a sulfuric acid concentration of 18%, with the highest chemical element in the crystal being Cu at 76.06%.

Corresponding Author **:**
Lailly Amaretha Kusuma Wardhani
Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Jalan Raya Rungkut Madya No.1, Kec. Gunung Anyar, Surabaya 60294, Indonesia.
Email: laillyamaretha@gmail.com

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan berbagai macam industri. Beberapa industri menghasilkan limbah sebagai hasil dari produksinya. Tembaga menjadi limbah logam berat yang

This is an open access article under the CC BY license

dihasilkan oleh industri elektroplating, metalurgi, peleburan, bengkel, suku cadang dan lain-lainnya. Sektor penghasil limbah padat Tembaga (Cu) terbesar berasal dari industri manufaktur. Salah satu industri manufaktur di Surabaya menghasilkan 1000 kg/bulan yang berupa serbuk padatan 50 mesh. Koagulasi-flokulasi, sedimentasi, netralisasi, lumpur aktif dan anaerobik menjadi teknologi yang diterapkan untuk mengolah limbah cair. Teknologi ini tidak dapat digunakan untuk mengolah limbah padat tembaga karena koagulan dan floakulan yang dibutuhkan akan sangat besar sehingga akan meningkatkan biaya penanganan dan pengolahan limbah padat. Berdasarkan teori dan penelitian terdahulu, limbah padat tembaga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan Tembaga Sulfat ($CuSO_4$). Senyawa $CuSO_4$ yang lebih dikenal sebagai tembaga sulfat berbentuk kristal triklin biru dengan rumus $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (pentahidrat), yang juga disebut vitriol biru atau batu biru. Tembaga (II) sulfat pentahidrat akan terurai sebelum mencair pada suhu 150°C. Senyawa ini akan kehilangan dua molekul airnya pada suhu 63 °C, dua molekul lagi pada suhu 109 °C, dan molekul air terakhir pada suhu 200 °C. Kristal ini dapat dihasilkan dengan mereaksikan tembaga (Cu) dengan asam sulfat (H_2SO_4) dan asam nitrat sebagai pelarut, kemudian memanaskannya hingga terbentuk kristal. Selain menggunakan logam tembaga sebagai bahan baku, kristal $CuSO_4.5H_2O$ juga dapat dibuat dari tembaga bekas atau tembaga dalam bentuk sponge yang diperoleh dari larutan $CuCl_2$. Pada skala industri, proses pembuatan dilakukan dengan memompa udara melalui campuran yang dipanaskan dengan H_2SO_4 encer (Luciana. dkk, 2020).

Tumbuhan memerlukan tembaga sebagai salah satu unsur mikronutrien yang penting untuk menjalankan berbagai fungsi fisiologis dan biokimia mereka (Napitupulu. dkk, 2022). Kristal $CuSO_4$ memiliki berbagai kegunaan, seperti sebagai reagen kimia, untuk mensintesis senyawa organik, melapisi anti fowling pada kapal, solder tanpa timbal, fungisida dan aplikasi lainnya. PT Petrokimia termasuk di antara industri yang menggunakan kristal CuSO4 sebagai bahan aditif dalam produksi pupuk NPK. Pembuatan Tembaga Sulfat dapat dilakukan dengan proses kristalisasi. Proses kristalisasi terdiri dari 2 tahap yaitu nukleasi dan pertumbuhan kristal (Berk, 2018). Penelitian yang dilakukan oleh (Fitrony. dkk, 2013) menggunakan proses kristalisasi dingin yang membutuhkan waktu 2 hari untuk mendapatkan kristal Tembaga Sulfat. Proses kristalisasi dingin membutuhkan waktu yang cukup lama untuk memperoleh kristal tembaga sulfat. Dengan proses kristalisasi panas waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh kristal Tembaga Sulfat lebih cepat jika dibandingkan dengan proses kristalisasi dingin. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh (N. Karaman. dkk, 2017) pengadukan atau getaran dapat membantu kristal Barium Sulfat cepat terbentuk. Pengadukan dalam proses pembuatan tembaga sulfat dapat menghasilkan kristal dengan bentuk dan ukuran yang lebih seragam dibandingkan dengan kristal yang terbentuk tanpa pengadukan. Tanpa pengadukan, kristal yang dihasilkan akan memiliki bentuk dan ukuran yang tidak seragam (Khairunisa. dkk, 2019). Ukuran limbah padat tembaga memainkan peran krusial karena tembaga yang berukuran besar atau panjang lebih sulit larut, sehingga berdampak pada pembentukan kristal tembaga sulfat (Rodiah, dkk. 2018). Syarat terbentuknya kristal tembaga sulfat dengan kristalisasi panas adalah terjadinya kondisi supersaturasi. Supersaturasi adalah suatu kondisi dimana konsentrasi padatan (zat terlarut) dalam suatu larutan melebihi konsentrasi saturasi larutan. Oleh karena itu, dalam keadaan ini kristal pertama kali terbentuk, dan ada empat metode untuk menciptakan supersaturasi yaitu perubahan suhu, penguapan pelarut, reaksi kimia, dan perubahan komposisi pelarut. Oleh karena itu, tercapainya kondisi supersaturasi sangat penting dalam proses pembentukan kristal (Wibowo. dkk, 2021). Kristal dapat mengalami pertumbuhan dalam berbagai bentuk yang berbeda, dengan menjaga konsistensi jumlah permukaan dan sudut antar permukaannya. Istilah umum yang digunakan untuk ini adalah kebiasaan kristal atau *crystal habit* (Fachry. dkk, 2008). Semua sel satuan dalam suatu kristal memiliki sifat identik (Handoko. dkk, 2018).

RSM merupakan metode analisis statistik yang menggabungkan pemodelan matematika untuk mempelajari optimalisasi dalam konteks variabel bebas yang mempengaruhi variabel respons, dengan tujuan untuk mencapai hasil yang optimal. RSM secara efektif dapat mengeksplorasi dan mengidentifikasi faktor-faktor penyebab baru yang dapat meningkatkan respons optimal. Hasil penelitian akan diolah melalui optimasi menggunakan *Design of Experiment*

(DoE), dengan memvariasikan konsentrasi dan waktu reaksi dalam pembuatan Tembaga Sulfat. Desain eksperimen RSM melibatkan metode Box-Behnken (BBD) dan Composite Central (CCD). Box-Behnken dianggap lebih efisien karena membutuhkan jumlah percobaan yang lebih sedikit dibandingkan dengan CCD, sehingga dapat mengurangi biaya pengujian (Nursal, 2019). Desain Box-Behnken memungkinkan untuk memeriksa interaksi antara parameter-parameter, sehingga menjadi lebih efisien (Wyantuti, 2020). Namun BBD tidak efisien digunakan ketika rancangan percobaan yang dilakukan belum pernah dilakukan sebelumnya, karena tujuan dari BBD yaitu untuk memverifikasi hasil penelitian terdahulu yang pernah dilakukan. Desain Composite Central lebih baik dilakukan jika rancangan percobaan belum dilakukan sebelumnya karena CCD dapat memprediksi hasil optimasi secara luas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai pembentukan kristal terbaik dengan kristalisasi panas menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan metode *Composite Central Design* (CCD) kemudian di lakukan identifikasi pada kristal terpilih menggunakan analisa *X-Ray Fluorescence* (XRF).

METODE PENELITIAN

Rancangan Percobaan

Pada penelitian ini bahan utama yang digunakan adalah limbah padat tembaga. Bahan tambahan meliputi HNO_3 98% dan H_2SO_4 68%. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi *beaker glass*, magnetic stirrer, thermocople, statif dan klem, oven, neraca analitik, labu ukur, gelas ukur, pipet volumetrik, mortar dan alu. Kondisi yang ditetapkan yaitu :

a) Berat Tembaga (1,25 gram)
b) Konsentrasi HNO_3 (20%)
c) Volume HNO3 (150 ml)
d) Temperatur Reaksi (90 ^oC)
e) Ukuran tembaga (2 cm)
f) Kecepatan Pengadukan (400 rpm)
g) Volume H_2SO_4 (100 ml)

Adapaun kondisi yang dijalankan yaitu :

a) Konsentrasi H_2SO_4 (10%,12%,14%,16%, dan 18%)
b) Waktu Reaksi (50, 55, 60, 65, dan 70 menit)

Prosedur Penelitian

1. Pengecilan Ukuran
   Tembaga berbentuk kumparan digerenda lalu diayak dengan sieve tray 50 mesh.
2. Pengenceran
   HNO_3 pekat diencerkan hingga mendapatkan konsentrasi larutan sebesar 20%. H_2SO_4 pekat diencerkan dengan aquadest untuk mendapatkan konsentrasi larutan sebesar 10%,12%,14%,16%, dan 18%
3. Proses Pelarutan Tembaga dengan HNO_3 20%
   Tembaga yang sudah dipreparasi dilarutkan dengan HNO_3 yang telah diencerkan.
4. Proses Pencampuran dengan H_2SO_4
   Larutan tembaga yang sudah tidak terdapat gas NO_2 dicampurkan dengan larutan H_2SO_4 dengan waktu 50, 55, 60, 65, dan 70 menit.
5. Penyaringan
   Larutan Tembaga dan H_2SO_4 yang sudah bereaksi kemudian disaring untuk memisahkan filtrat dengan kristal tembaga sulfat yang terbentuk. kemudian kristal ditimbang untuk dilakukan analisa Response Surface Methodology.
6. Pengeringan
   Kristal tembaga sulfat di keringan dengan suhu ruang kemudian dilakukan analisa X-Ray Fluorescence.

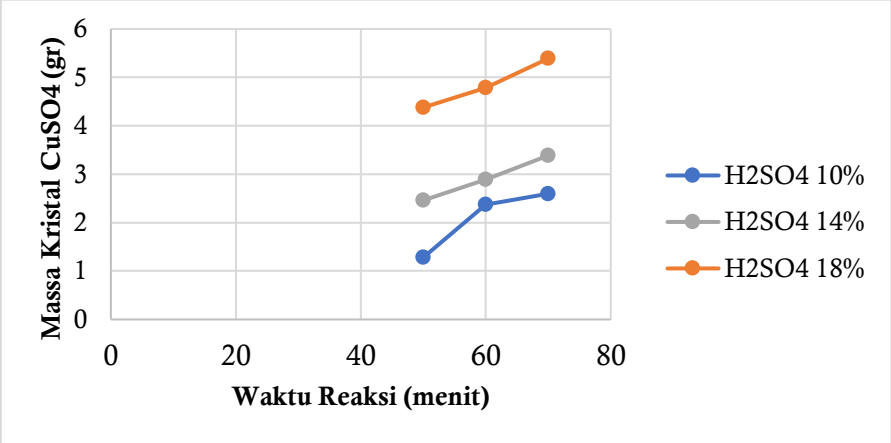
Analisa Data

Kristal tembaga sulfat yang didapatkan kemudian dilakukan analisa *Response Surface Methodology* menggunakan metode *Composite Central Desain* (CCD) untuk mengetahui hasil kristal terbaik. Metode CCD dipilih karena dapat memprediksi secara luas rancangan percobaan atau penelitian yang belum pernah dilakukan. Dalam metode CCD terdapat tiga jenis titik yang berbeda, yaitu titik faktorial, titik axial (star points), dan titik pusat (central point) (Dwiastuti, 2022). Setelah didapatkan hasil kristal yang terbaik dilakukan analisa *X-Ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui unsur yang terkandung didalam kristal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang telah dilakukan, hasil yang didapatkan adalah kristal tembaga sulfat berwarna biru. Analisis dilakukan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi H_2SO_4 dan waktu reaksi terhadap pembentukan kristal tembaga sulfat menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Rancangan respon dilakukan menggunakan Design Expert 13 dengan model *Central Composite Design* (CCD). Variabel respons yang diamati adalah massa kristal Tembaga Sulfat (Y1), yang merupakan hasil tunggal dari penelitian ini. Terdapat dua faktor yang mempengaruhinya, yaitu konsentrasi H_2SO_4 (X1) dan waktu reaksi (X2) sebagai variabel input. Analisis terhadap respons kristal Tembaga Sulfat yang dihasilkan bertujuan untuk mencapai optimalisasi variabel sehingga dapat dibentuk model dan persamaan matematis yang memperbaiki variabel untuk mencapai respons yang optimal. Respon terbaik yang ditunjukkan pada Response Surface Methodology dengan perolehan kristal tembaga sulfat tertinggi kemudian diujikan kadar tembaga sulfat ($CuSO_4$) yang terkandung dalam kristal dengan metode *X-Ray Fluoresence (XRF).*

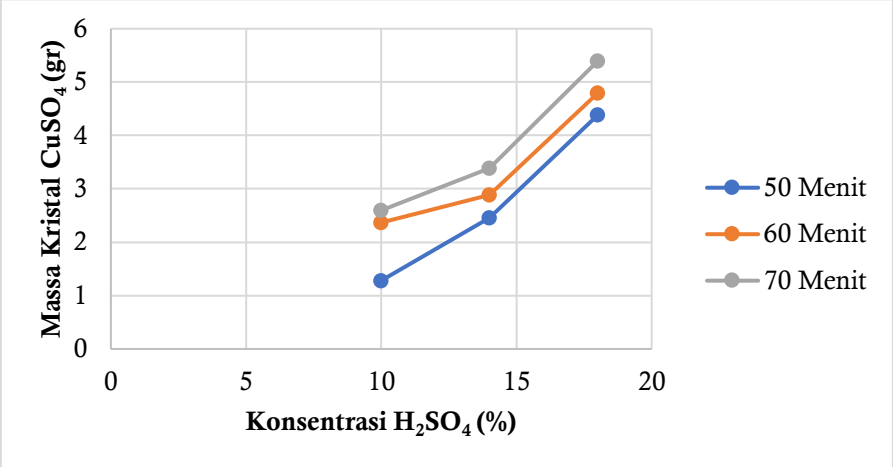
Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Massa Kristal yang Terbentuk



Gambar 1. Hubungan antara waktu reaksi (menit) dan konsentrasi H_2SO_4 terhadap massa kristal tembaga sulfat (gr)

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin lama waktu H_2SO_4 bereaksi maka massa kristal tembaga sulfat yang diperoleh akan semakin banyak. Menurut (Fitrony, 2013) semakin lama waktu H_2SO_4 bereaksi dengan tembaga maka perolehan kristal yang didapat akan semakin besar.

Pengaruh Konsentrasi H_2SO_4 Terhadap Massa Kristal yang Terbentuk



Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi H_2SO_4 (%) dan waktu reaksi terhadap massa kristal tembaga sulfat (gr)

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi H_2SO_4 maka kristal tembaga sulfat yang diperoleh akan semakin banyak. Menurut (Athalla. dkk, 2022) dimana semakin besar konsentrasi H_2SO_4 maka kristal yang didapat akan semakin banyak. Semakin tinggi konsentrasi asam sulfat, semakin tinggi pula recovery tembaga. Hal ini disebabkan oleh peningkatan laju reaksi dan laju difusi H^+ yang dipercepat oleh konsentrasi asam sulfat yang lebih tinggi. Konsentrasi yang lebih tinggi memungkinkan laju pembentukan kristal meningkat karena luas permukaan kontak antara molekul tembaga (Cu) dengan H_2SO_4 yang semakin besar.

Analisa RSM

Tabel 1. Respon massa kristal tembaga sulfat dengan perlakuan konsentrasi H2SO4 dan waktu reaksi

			Faktor		Respon
Run	Konsentrasi HNO3 (%)	Waktu Pelarutan (Menit)	Konsentrasi H2SO4 (%)	Waktu Reaksi (Menit)	Perolehan Kristal (gr)
1	20	30	10	50	1,2810
2	20	30	10	60	2,3685
3	20	30	10	70	2,5969
4	20	30	14	50	2,4602
5	20	30	14	60	2,6032
6	20	30	14	60	2,8845
7	20	30	14	60	2,7768
8	20	30	14	70	3,3864
9	20	30	18	50	4,3791
10	20	30	18	60	4,7897
11	20	30	18	70	5,3908

Berdasarkan hasil pada Tabel 1 nilai perolehan kristal tembaga sulfat terendah yaitu pada konsentrasi H_2SO_4 10% dan waktu reaksi selama 50 menit dengan hasil 1,2810 gram, sedangkan perolehan tertinggi kristal tembaga sulfat pada konsentrasi H_2SO_4 18% dan waktu reaksi selama 70 menit dengan hasil 5,3908 gram.

Model ini menggunakan analisis ragam (ANOVA) untuk mengevaluasi interaksi antara variabel konsentrasi H_2SO_4 dan waktu reaksi terhadap variabel responsnya, yaitu hasil kristal

CuSO4. Hasil dari ANOVA akan menunjukkan apakah model ini signifikan atau tidak dalam menjelaskan hasil penelitian. Tabel 2 menampilkan hasil analisis ragam (ANOVA) terhadap respons perolehan kristal tembaga sulfat menggunakan model kuadratik.

Tabel 2. ***Analysis of Variance*** **(ANOVA) respon massa kristal tembaga sulfat**

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value	
Model	14.44	5	2.89	65.04	0.0002	significant
A-Konsentrasi H2SO4	11.52	1	11.52	259.36	< 0.0001	
B-Waktu Reaksi	1.76	1	1.76	39.73	0.0015	
AB	0.0231	1	0.0231	0.5209	0.5028	
A^2	1.06	1	1.06	23.93	0.0045	
B^2	0.0002	1	0.0002	0.0038	0.9532	
Residual	0.2221	5	0.0444			
Lack of Fit	0.1818	3	0.0606	3.01	0.2594	not significant
Pure Error	0.0403	2	0.0201			
Cor Total	14.66	10				

Std. Dev.	0.2107	**R^2**	0.9849
Mean	3.17	**Adjusted R^2**	0.9697
C.V. %	6.64	**Predicted R^2**	0.8823
		Adeq Precision	24.773

Berdasarkan Tabel 2, nilai probabilitas (prbo>F) kurang dari 5% atau 0,05, menunjukkan hasil yang signifikan. Analisis ragam (ANOVA) terhadap model kuadratik menunjukkan F-value sebesar 65,04, yang mengindikasikan bahwa model ini signifikan. Nilai P-value <0,05 menunjukkan bahwa variabel memiliki pengaruh yang signifikan terhadap respons pada tingkat probabilitas 95%. Sebaliknya, jika nilai P-value >0,05, menunjukkan bahwa variabel tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap respons (Perec, 2021). Variabel A (konsentrasi H_2SO_4) secara signifikan mempengaruhi kadar kristal Tembaga Sulfat dengan nilai P < 0,05. Variabel B (waktu reaksi) juga menunjukkan pengaruh signifikan dengan P-value sebesar 0,0015, yang lebih rendah dari 0,05.

Sementara pada model 2FI (interaksi 2 faktor AB) menggunakan persamaan :

$$y = \beta 0 + \beta 1x1 + \beta 2x2 + \beta 3x1x2 \quad (1)$$

menunjukkan hasil yang tidak signifikan dengan P-value lebih besar dari 5%, yakni 0,5028. Untuk variabel A^2 (konsentrasi H2SO4) dan variabel B^2 (waktu reaksi), persamaan yang diberikan :

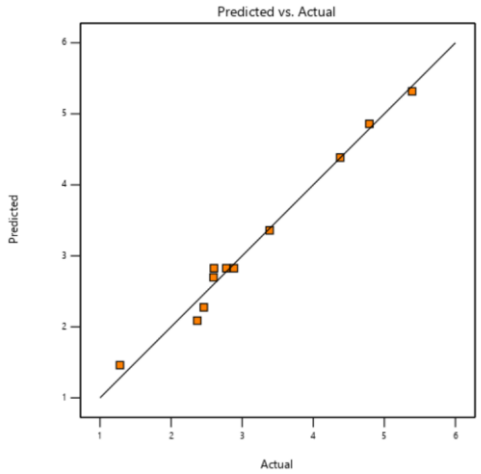
$$y = \beta 0 + \beta 1x1 + \beta 2x2 + \beta 3x12 + \beta 4x22 \quad (2)$$

Variabel A^2 dianggap signifikan dalam model ini karena memiliki P-value kurang dari 5%, yaitu sebesar 0,0045. Sebaliknya, variabel B^2 tidak signifikan dengan nilai P-value sebesar 0,9532. Ketidakcocokan model (*lack of fit*) memiliki F-value sebesar 3,01 dan kemungkinan sebesar 25,94%, menunjukkan bahwa ini adalah variabel model yang tidak signifikan karena P-value >5% (Hidayat. dkk, 2021).

Setelah melalui serangkaian pengujian dan pemilihan model kuadratik, ditemukan persamaan yang menggambarkan hubungan model terpilih terhadap respon perolehan kristal tembaga sulfat sebagai berikut :

$$Y = 0.764443 - 0.672888 \times A + 0.090656 \times B - 0.001901 \times A \times B + 0.040477 \times A2 - 0.000082 \times B2 \quad (3)$$

Dimana Y merupakan massa kristal Tembaga Sulfat, A merupakan waktu reaksi dan B konsentrasi H_2SO_4. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk memproyeksikan titik optimal dari waktu reaksi dan konsentrasi H_2SO_4 terhadap massa kristal Tembaga Sulfat ($CuSO_4$). Model regresi dalam penelitian ini mencapai nilai R^2 sebesar 0,9849, yang menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara nilai yang diamati dan nilai yang diprediksi dari respons tersebut. Menurut Hameed dkk. (2009) dalam Zulfadli dkk. (2015), nilai R^2 yang lebih besar dari 0,9 menandakan bahwa prediksi dari model sesuai dengan nilai yang diamati. Grafik perbandingan antara nilai yang diamati dan nilai prediksi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan nilai aktual dan nilai prediksi respon massa kristal tembaga sulfat

Untuk mengevaluasi keakuratan model, kita dapat membandingkan nilai aktual dari penelitian dengan nilai yang diprediksi oleh model. Distribusi data aktual dan prediksi dapat dilihat pada Gambar 3, di mana nilai prediksi model ditunjukkan sebagai garis, sedangkan nilai aktual ditampilkan sebagai kotak-kotak yang tersebar di sepanjang garis tersebut. Dari grafik pada Gambar 3, terlihat bahwa semua nilai aktual mendekati nilai prediksi dengan baik.

Hasil Analisa X-Ray Fluorescence

Pada penelitian pembuatan tembaga sulfat dari limbah padat tembaga didapatkan hasil terbaik dengan massa kristal terbanyak pada kondisi operasi pengadukan 500 rpm, dan suhu 90°C, serta waktu bereaksi selama 70 menit dengan konsentrasi H_2SO_4 18% tembaga sulfat yang dihasilkan sebanyak 5,3908 gram. Massa kristal yang didapatkan kemudian di uji *X-Ray Fluorescence*. Hasil uji didapatkan unsur-unsur yang terkandung dalam kristal tembaga sulfat.

Tabel 3. Hasil uji analisa *X-Ray Fluorescence*

Komponen	S	Ca	Cr	Fe	Ni	Cu	Mo	Os
Komposisi	11%	0.29%	0.056%	0.20%	0.074	76.06%	12%	0.60%
Komponen Oksida	SO_3	CaO	Cr_2O_3	Fe_2O_3	NiO	CuO	MoO_3	OsO_4
Komposisi	22%	0,29%	0,059%	0,20%	0,067%	64,85%	11%	1,4%

Tabel 3 menunjukkan unsur apa saja yang terkandung dalam kristal tembaga sulfat dengan bantuan sinar *X-Ray Fluorescence*. Unsur-unsur tersebut diantaranya Sulfur (S) sebesar 11%, Kalsium (Ca) sebesar 0,29%, Krom (Cr) sebanyak 0,056%, Besi (Fe) 0,20%, Nikel (Ni) 0,074%, Tembaga (Cu) 76,06%, Molibdenum (Mo) 12%, dan Osmium (Os) 0,60%. Dari tabel diatas terlihat bahwa kandungan unsur kimia tertinggi dari kristal tembaga sulfat adalah Cu yaitu sebesar 76,06%. Jika dilihat oksidanya, SO_3 sebesar 22%, CaO sebesar 0,29%, Cr_2O_3 sebesar 0,059%, Fe_2O_3 sebesar 0,20%, NiO sebesar 0,067%, CuO sebesar 64,85%, MoO_3 sebesar 11%, dan OsO_4 sebesar 1,4%. Dari tabel diatas diperoleh komposisi oksida terbesar pada CuO sebanyak 64,85%.

Hal ini menunjukkan bahwa kristal tembaga sulfat yang dihasilkan sebagian besar mengandung tembaga dengan kemurnian tembaga 76,06%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian "Pembuatan Tembaga Sulfat Dari Limbah Padat Tembaga Dengan Proses Kristalisasi Panas" yang telah dilakukan dapat disimpulkan yaitu kondisi terbaik pada penelitian ini ditinjau dari hasil analisa RSM dari grafik *contour* yang dihasilkan. Kondisi terbaik dapat dilihat dari grafik contour yang menggabungkan 2 variabel terhadap kristal tembaga sulfat yang di dapatkan. Didapatkan hasil terbaik dengan massa kristal terbanyak pada kondisi operasi pengadukan 500 rpm, dan suhu 90°C, serta waktu bereaksi selama 70 menit dengan konsentrasi H_2SO_4 18% tembaga sulfat yang dihasilkan sebanyak 5,3908 gram. Sampel terpilih dengan Analisa ANOVA kemudian diuji menggunakan *X-Ray Fluorescene* untuk mengetahui kadar tembaga yang terkandung dalam kristal. Sebanyak 76% dari 5,3908gr merupakan logam Cu. Komposisi lain yang terkandung diantaranya S, Ca, Cr, Fe, Ni, Mo, dan Os.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, diharapkan penelitian selanjutnya dapat mengoptimalkan pembentukan massa kristal tembaga sulfat dengan menguji kondisi operasional yang berbeda, seperti kecepatan pengadukan dan suhu reaksi, untuk mencapai hasil yang optimal. Selain itu, diharapkan penelitian mendatang dapat mempertimbangkan pengujian menggunakan lebih dari satu sampel agar hasilnya dapat dibandingkan secara lebih komprehensif.

REFERENSI

Athalla, F, Sulistiawati, E, & Setiawan, I. (2022). Optimization of Copper Dissolution From Electronic Waste Printed Circuit Board Using Leaching Method, *Jurnal Sains Natural*, 12(01), 01-09

Berk, Z. (2013). *Food Process Engineering and Technology*. 2nd edn. San Diego: Elsevier.

Fachry, A. *et al*. (2008). Pengaruh Waktu Kristalisasi dengan Proses Pendinginan Terhadap Pertumbuhan Kristal Amonium Sulfat Dari Larutannya, *Jurnal Teknik Kimia*, 2(15), 9-16

Fitrony, *et al.* (2013). Pembuatan Kristal Tembaga Sulfat Pentahidrat ($CuSO_4.5H_2O$) dari Tembaga Bekas Kumparan, *Jurnal Teknik POMITS*, 2 (1), 1-5

Dwiastuti, R & Ni Kadek, D P. (2022). Aplikasi Metode Optimasi Central Composite Design dalam Formulasi Sediaan Gel Nanopartikel Lipid dengan Bahan Aktif 4-N-Butilresorcinol, *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 8 (1), 71- 78

Handoko, E, Bambang, S & Frilla, R. (2018). Tehnik Difraksi Sinar-X Dalam Analisis Struktur Kristal, LPPM Universitas Negeri Jakarta, Jakarta.

Hidayat, I R, Zuhrotun, A, Sopyan, I. (2021). Design-expert Software sebagai Alat Optimasi Formulasi Sediaan Farmasi, *Majalah Farmasetika*, 6 (1), 11-17.

Karaman, N. *et al.* (2017). Scale Formation of Barium Sulfate in the Piping Flow System : Mineralogy and Methodology Evaluation, *Adv. Sci. Left*., 23 (12), 12243-12246

Khairunisa, L F, Asri, W & Sarifah, N. (2019). Kajian Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Rendemen dan Mutu Kristal Patchouli Alkohol Dengan Metode Cooling Crystallization, *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 7 (1), 55-66.

Luciana, *et al*. (2020). 'Penggunaan Kuprisulfat Pada Pencapan Rintang Metoda Khelasi Logam (Metal Chelation) Pada Kain Poliester Dengan Zat Warna Dispersi', *Jurnal Tekno Insentif*, 14 (2).

Nursal, F. K., *et al*. (2019). Optimasi Nanoemulsi Natrium Askorbil Fosfat Melalui Pendekatan Design of Experiment (Metode Box Behnken), *Jurnal Sains Farmasi dan Klinis*, 6 (03).

Rodiah, S., et al. (2018). Pembuatan Kristal Tembaga (II) Sulfat Pentahidrat Dengan Variasi Ukuran Tembaga Bekas, *Seminar Nasional Sains dan Tekonologi Terapan.*

Wibowo, C & Ng, K. M. 2020. Conceptual Design Of Crystallization Processes. Berlin: Deutsche National Bbibliografie.

Wittering, K. (2014). 'Form Evaporative &Cooling Crystallization : An Initial Co- Crystallization Study of Cytosine and Its fluorinated Derivative with 4-chloro-3,5-dinitrobenzoic Acid', *Jurnal Crystal*, 1(01)

Wyantuti, S., et al, (2020). Penerapan Desain Eksperimen Plackett-Burman dan Box Behnken pada Analisis Voltametri Pulsa Diferensial untuk Penentuan Kadar Senyawa Kompleks Gd-DTPA', *Jurnal Penelitian Kimia*, 16 (01), 140-151.