

Pembuatan Kristal Tembaga Sulfat Pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) dari Tembaga Bekas Kumbaran

Fitrony, Rizqy Fauzi, Lailatul Qadariyah, dan Mahfud

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: mahfud@chem-eng.its.ac.id

Abstrak - Tujuan penelitian ini yaitu untuk mempelajari proses pembuatan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dari bahan baku Cu bekas kumbaran; mempelajari pengaruh suhu reaksi, pengadukan, dan seeding terhadap kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dihasilkan; dan membuktikan kristal hasil percobaan berupa kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dihasilkan. Bahan baku yang dipakai yaitu berupa kawat tembaga bekas kumbaran dinamo. Penelitian ini mencakup penanganan produk dan persiapan bahan baku. Sebelum digunakan, bahan baku logam dibersihkan dari pengotor lalu dipotong kecil-kecil yang bertujuan agar mempermudah dan mempercepat proses pelarutan tembaga dengan HNO_3 . Setelah pelarutan, larutan direaksikan dengan H_2SO_4 pekat yang sudah diencerkan pada suhu tertentu. Kemudian dilakukan kristalisasi disertai dengan pengadukan. Dari data hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan 99% yield dan ukuran kristal rata-rata 0,7 mm dapat dibuat dari tembaga bekas kumbaran dengan suhu reaksi 90°C , penambahan seed, dan pengadukan kristalisasi 500 rpm. Semakin tinggi suhu reaksi maka kelarutan CuSO_4 dalam air semakin besar sehingga semakin banyak yield kristal yang dihasilkan. Kecepatan pengadukan cenderung tidak mempengaruhi yield kristal yang dihasilkan, namun berpengaruh terhadap ukuran kristal. Pengadukan akan membuat ukuran kristal lebih kecil daripada tanpa pengadukan. Pengondisian seeding dapat menaikkan yield kristal sekitar 10,72 – 27,13 % jika dibandingkan dengan non seeding dikarenakan terjadinya heterogeneous nucleation. Berdasarkan analisa XRD, kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ hasil percobaan sesuai dengan data standard XRD kode referensi 01-072-2355.

Kata kunci – tembaga; kristal; temperatur; pengadukan; seeding.

I. PENDAHULUAN

Di Indonesia terdapat berbagai macam industri. Beberapa industri membutuhkan bahan-bahan untuk meningkatkan kualitas dari produk yang dihasilkan. Kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ merupakan salah satu bahan yang banyak dibutuhkan di industri. Pemanfaatan dari $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ini sangat luas. Diantaranya yaitu sebagai fungisida yang merupakan pestisida yang secara spesifik membunuh atau menghambat cendawan akibat penyakit, reagen analisa kimia, sintesis senyawa organik, pelapisan anti foking pada kapal, sebagai kabel tembaga, electromagnet, papan sirkuit, solder bebas timbal, dan magneton dalam oven microwave. [1]

Salah satu industri yang menggunakan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ini adalah PT Petrokimia yang berlokasi di Gresik, Jawa Timur. Pada industri ini, kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ digunakan sebagai bahan aditif dalam pembuatan pupuk NPK. Kristal

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ berupa padatan kristal biru ini dapat dibuat dengan mereaksikan tembaga dengan asam sulfat dan asam nitrat yang kemudian dipanaskan dan hingga terbentuk kristal. Selain dengan bahan baku logam tembaga, kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ juga bisa dibuat dari tembaga bekas ataupun tembaga dalam bentuk *sponge* yang diperoleh dari larutan CuCl_2 .

Tembaga banyak digunakan pada berbagai barang elektronik, misalnya kabel, kumbaran, dan lain-lain. Logam tembaga pada barang-barang tersebut mengandung kadar tembaga yang cukup tinggi. Sehingga, biasanya bekas tembaga dari barang-barang tersebut diolah kembali menjadi logam tembaga baru untuk digunakan pada barang elektronik lagi. Hal itu memunculkan ide pengolahan limbah tembaga untuk diolah menjadi bentuk yang lain dalam rangka peningkatan nilai guna. Salah satunya sebagai bahan baku pembuatan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Oleh karena pemanfaatannya yang sangat luas dan dapat meningkatkan nilai kegunaan dan nilai keekonomisan dari tembaga bekas kumbaran, maka perlu dilakukan penelitian pembuatan kristal tembaga sulfat pentahidrat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) dari tembaga bekas kumbaran dengan reaksi menggunakan H_2SO_4 dan pelarut HNO_3 .

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh suhu reaksi, pengadukan, dan seeding terhadap kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dihasilkan. Selain itu juga membuktikan kristal hasil percobaan berupa kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dihasilkan.

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah: bahan yang digunakan adalah Cu bekas kumbaran dan H_2SO_4 , pelarut yang digunakan adalah HNO_3 , dan reaksi dilakukan pada kondisi tekanan atmosferik.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Garis Besar Penelitian

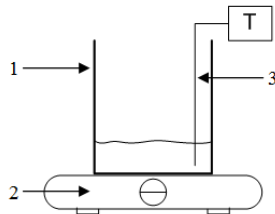
Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mempelajari cara pembuatan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dari tembaga (Cu) bekas kumbaran dan H_2SO_4 dengan pelarut HNO_3 . Dalam pelaksanaannya, proses pembuatan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ melalui tahap pelarutan bahan Cu dengan HNO_3 , tahap reaksi dengan H_2SO_4 , dan tahap kristalisasi sehingga diperoleh kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Selanjutnya dilakukan penelitian yang meliputi pengaruh suhu reaksi, pengadukan, dan seeding terhadap

kristal yang dihasilkan. Selain itu juga dilakukan pengukuran yield kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dihasilkan, analisa XRD pada produk $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

B. Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cu bekas kumparan, H_2SO_4 98% massa, HNO_3 65% massa, dan aquadest.

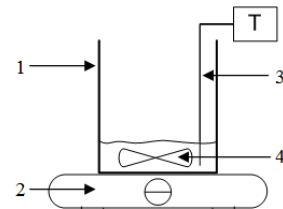
C. Deskripsi Peralatan



Gambar 1. Skema peralatan pada tahap reaksi

Keterangan:

- 1. Reaktor batch
- 2. Heater
- 3. Termometer



Gambar 2. Skema peralatan pada tahap kristalisasi

Keterangan:

- 1. Reaktor batch
- 2. Stirrer
- 3. Termometer
- 4. Magnetic stirrer

D. Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu tahap pelarutan Cu, tahap reaksi dengan H_2SO_4 , tahap kristalisasi, dan tahap analisa produk. Kondisi operasinya yaitu pada tekanan atmosferik.

Pertama-tama melarutkan tembaga (Cu) bekas kumparan dengan HNO_3 65% massa sampai tidak terbentuk lagi gas berwarna coklat (gas NO_2). Lalu melakukan tahap reaksi dengan H_2SO_4 pada beberapa suhu reaksi sesuai variabel. Sebelum tahap kristalisasi, larutan dikondisikan *seeding* atau *non seeding*. Pada tahap kristalisasi, larutan diberikan pengadukan selama 15 menit sesuai dengan variabel kecepatan yang ditentukan, lalu dibiarkan 2 x 24 jam. Melakukan pengamatan pada setiap tahap yang dilakukan. Menganalisa kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang diperoleh.

E. Variabel Penelitian

- a. Suhu reaksi: 34°C, 50°C, 70°C, dan 90°C
- b. Kecepatan pengadukan pendinginan: tanpa pengadukan (0 rpm), 300 rpm, 400 rpm, 500 rpm, 600 rpm, dan 700 rpm
- c. *Seeding* dan *non seeding*

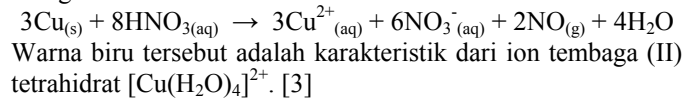
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pembuatan Kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

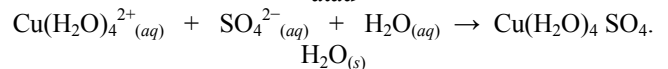
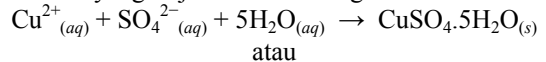
Pada penelitian pembuatan kristal tembaga sulfat pentahidrat ini menggunakan metode pemanasan disertai dengan pendinginan larutan. Bahan baku yang dipakai dalam penelitian ini yaitu berupa kawat tembaga bekas kumparan dinamo. Pada penelitian ini mencakup penanganan produk dan persiapan bahan baku. Sebelum digunakan, bahan baku logam dibersihkan dari pengotor lalu dipotong kecil-kecil yang bertujuan agar mempermudah dan mempercepat proses pelarutan logam Cu dengan HNO_3 .

Pada tahap pelarutan tembaga dengan HNO_3 , terbentuk gas NO yang kemudian teroksidasi oleh oksigen diudara menjadi gas NO_2 yang berwarna coklat. Hal ini merupakan gas NO_2 yang berbahaya dengan bau yang sangat menyengat. [2]

Logam tidak reaktif seperti tembaga akan mereduksi asam nitrat pekat menjadi NO. Di dalam larutan terdapat gelembung gas dan buih berwarna putih, ini menandakan logam Cu melarut (terjadi reaksi). Lama kelamaan larutan berubah warna menjadi berwarna biru pekat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Kemudian larutan Cu dicampurkan dengan larutan H_2SO_4 3,4 M. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Kemudian larutan dipanaskan untuk meningkatkan kelarutan CuSO_4 untuk membentuk kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Usai pemanasan, larutan langsung disaring untuk menghilangkan pengotor. Filtrat dibiarkan untuk proses kristalisasi selama dua hari sehingga terbentuk kristal berwarna biru. Hidrat $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ tepatnya adalah sebagai $\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4 \text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, empat molekul air terikat pada ion Cu^{2+} sedangkan yang satunya lagi terikat pada gugus SO_4^{2-} .

B. Kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Hasil Penelitian

Setelah proses kristalisasi dilakukan pengamatan dimana terbentuk kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Lalu dilakukan berbagai analisa salah satunya terhadap densitas, pengecekan jumlah air kristal, dan pengamatan warna.

Tabel 1. Data hasil pengamatan warna dan pengukuran densitas

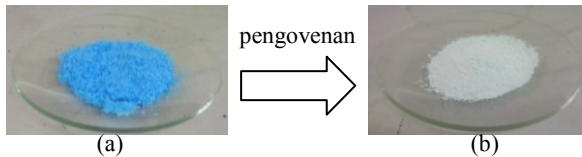
Analisa	Keterangan
Densitas (g/ml)	2,24
Warna $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Biru cerah
Warna CuSO_4	Putih

Dari hasil penelitian, diperoleh densitas $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebesar 2,24 g/ml yang diukur pada suhu 30°C. Berdasarkan *The Sigma-Aldrich Library*, densitas $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebesar 2,28 g/ml yang diukur pada suhu 15,6°C. [4]

Tabel 2. Data hasil pengecekan jumlah air kristal

Sampel	Massa (g)			mol CuSO ₄ : mol H ₂ O
	CuSO ₄ .5H ₂ O	CuSO ₄	H ₂ O	
I	12,38	7,95	4,43	1 : 4,95
II	10,03	6,39	4,43	1 : 5,08
Rata-rata				1 : 5,014 ≈ 5

Untuk pengecekan jumlah air kristal maka dilakukan proses pengovenan pada suhu 155°C terhadap kristal CuSO₄.5H₂O. Hal ini bertujuan untuk menguapkan air kristal pada kristal tersebut.

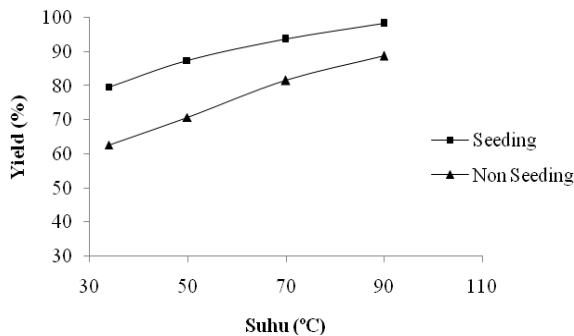


Gambar 3. Kristal CuSO₄.5H₂O, (a) sebelum dan (b) sesudah dipanaskan

Kristal yang diperoleh dari penelitian ini berwarna biru cerah. Ketika air kristalnya dihilangkan maka warnanya menjadi putih. Untuk membuktikan jumlah air kristal pada kristal CuSO₄.5H₂O, dilakukan analisa sederhana dengan menggunakan oven untuk mengecek jumlah air kristal. Dengan perbandingan mol CuSO₄ dan mol H₂O, maka didapatkan perbandingan 1:5. Sehingga terbukti bahwa jumlah air kristal sebanyak 5 mol H₂O.

C. Pengaruh Suhu Reaksi

Larutan tembaga sulfat dipanaskan pada berbagai suhu yaitu suhu kamar (34°C), 50°C, 70°C, dan 90°C. Sebelum proses kristalisasi, filtrat diberikan dua perlakuan yaitu *seeding* dan *non seeding*. Kemudian dilakukan pengukuran terhadap yield kristal yang terbentuk.



Gambar 4. Grafik rata-rata pengaruh suhu terhadap yield pada perlakuan *seeding* dan *non seeding*

Berdasarkan gambar 4, dapat disimpulkan bahwa yield kristal yang diperoleh meningkat seiring dengan kenaikan suhu reaksi, baik pada proses *seeding* maupun *non seeding*. Hal ini dikarenakan kelarutan CuSO₄ dalam air meningkat seiring dengan kenaikan suhu sehingga kristal CuSO₄.5H₂O yang terbentuk semakin banyak.

Analisa yield juga menunjukkan adanya kenaikan jumlah kristal yang diperoleh dengan penambahan *seed* pada proses kristalisasi. Hal ini dikarenakan penambahan *seed* pada proses kristalisasi membuat terjadinya *heterogeneous nucleation* yang

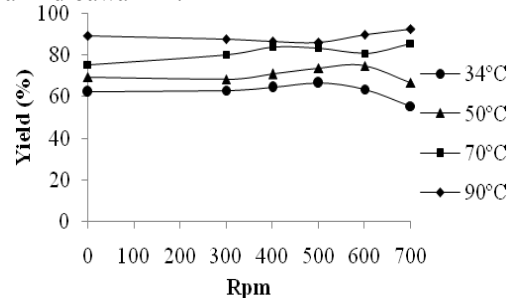
mempercepat terbentuknya inti kristal sehingga menstimulus pertumbuhan kristal. [5]

Untuk suhu 34°C, perlakuan *seeding* menaikkan yield kristal sebesar 27,13 % dibandingkan dengan perlakuan *non seeding*. Pada suhu 50°C, perlakuan *seeding* menaikkan yield kristal sebesar 23,77% dibandingkan dengan perlakuan *non seeding*. Pada suhu 70°C, perlakuan *seeding* menaikkan yield kristal sebesar 14,93 % dibandingkan dengan perlakuan *non seeding*. Sedangkan pada suhu 90°C, perlakuan *seeding* menaikkan yield kristal sebesar 10,72 % dibandingkan dengan perlakuan *non seeding*. Kenaikan yield dengan adanya perlakuan *seeding* cenderung menurun seiring dengan kenaikan suhu. Hal ini diakibatkan pada suhu yang tinggi, CuSO₄ yang larut kemudian membentuk kristal semakin banyak. Sehingga CuSO₄ yang belum larut dalam air semakin sedikit, hal ini yang menyebabkan efek *seeding* menurun.

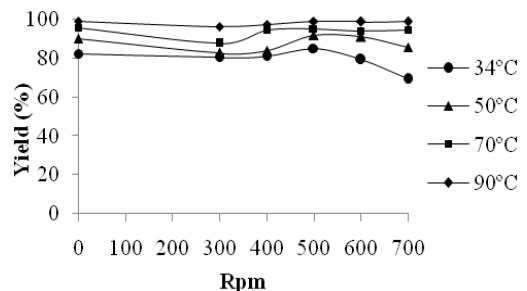
Dari data hasil perhitungan juga didapatkan bahwa setiap kenaikan suhu pemanasan 1°C untuk perlakuan *seeding* akan menaikkan yield kristal sebesar 0,327% sedangkan untuk perlakuan *non seeding* akan menaikkan yield kristal sebesar 0,473%.

D. Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Sebelum proses kristalisasi, filtrat diberikan dua perlakuan yaitu *seeding* dan *non seeding*. Kemudian dilakukan pengadukan dengan stirrer pada berbagai kecepatan yaitu tanpa pengadukan (0 rpm), 300 rpm, 400 rpm, 500 rpm, 600 rpm, dan 700 rpm. Setelah itu dilakukan pengukuran terhadap yield kristal yang terbentuk. Hasil pengukuran bisa dilihat pada grafik dibawah ini.

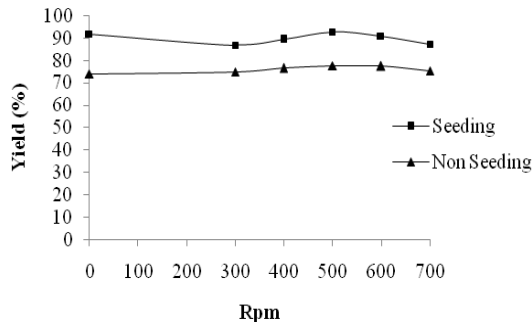


Gambar 5. Grafik pengaruh kecepatan pengadukan terhadap yield untuk setiap suhu pemanasan pada proses *non seeding*



Gambar 6. Grafik pengaruh kecepatan pengadukan terhadap yield untuk setiap suhu pemanasan pada proses *seeding*

Dari gambar 5 & 6 diketahui bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka yield kristal yang diperoleh juga semakin tinggi. Dari kedua grafik tersebut menunjukkan yield yang cenderung tetap untuk setiap kecepatan pengadukan.



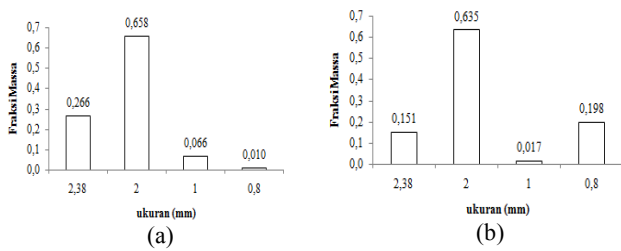
Gambar 7. Grafik rata-rata pengaruh kecepatan pengadukan terhadap yield pada perlakuan *seeding* dan *non seeding*

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa kecepatan pengadukan cenderung tidak mempengaruhi jumlah yield kristal yang dihasilkan baik pada perlakuan *seeding* maupun *non seeding*, namun lebih berpengaruh terhadap ukuran kristal yang terbentuk.

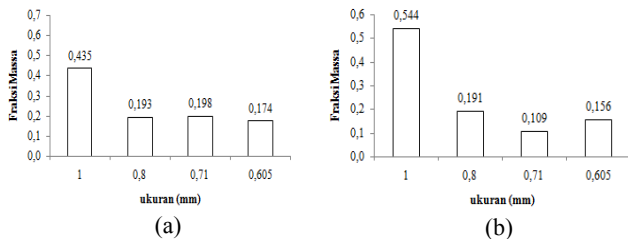
Grafik diatas juga menunjukkan kenaikan yield pada perlakuan *seeding* untuk tiap kecepatan pengadukan. Pada tiap kecepatan pengadukan, penambahan *seed* dapat menaikkan yield sebesar 15,81 – 24,13% dibandingkan dengan perlakuan *non seeding*.

E. Pengukuran Kristal

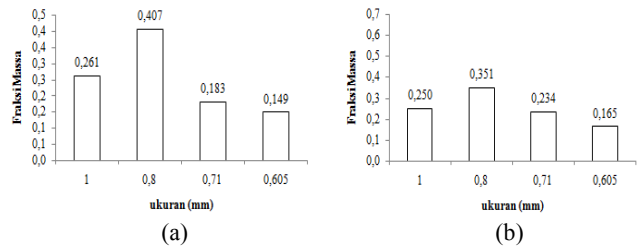
Untuk mengukur ukuran kristal maka digunakan metode ayakan (*sieve series*) yang disusun pada *sieve shaker*. Kristal yang diukur yaitu kristal pada kondisi *non seeding* maupun *seeding*. Kristal yang diperoleh dari penelitian ini memiliki bentuk dan ukuran yang cenderung homogen ketika terdapat pengadukan. Sementara ketika tanpa pengadukan, ukuran kristal cenderung heterogen. Berikut merupakan gambar grafik distribusi massa kristal pada beberapa ukuran mesh.



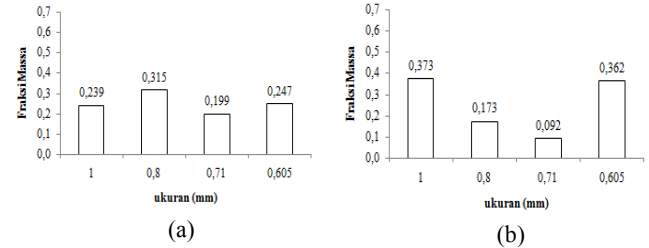
Gambar 8. Grafik distribusi massa ukuran kristal, variabel 90°C, tanpa pengadukan, (a) *non seeding*, (b) *seeding*



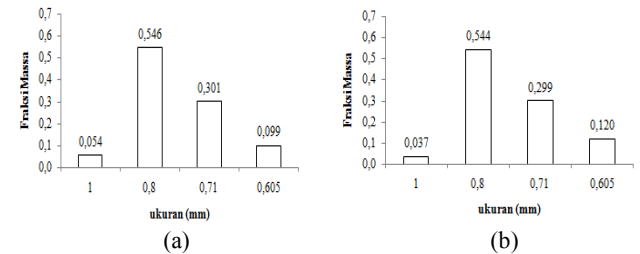
Gambar 9. Grafik distribusi massa ukuran kristal, variabel 90°C, 300 rpm, (a) *non seeding*, (b) *seeding*



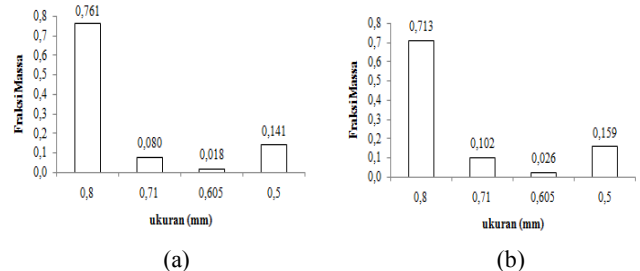
Gambar 10. Grafik distribusi massa ukuran kristal, variabel 90°C, 400 rpm, (a) *non seeding*, (b) *seeding*



Gambar 11. Grafik distribusi massa ukuran kristal, variabel 90°C, 500 rpm, (a) *non seeding*, (b) *seeding*

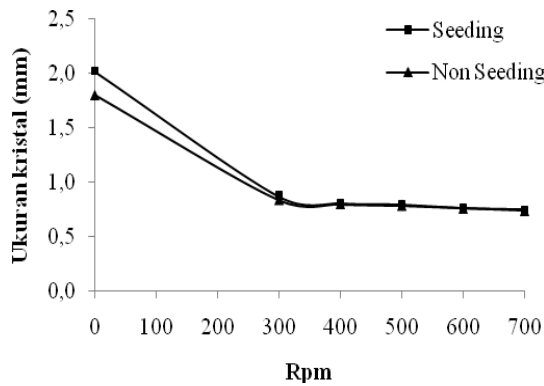


Gambar 12. Grafik distribusi massa ukuran kristal, variabel 90°C, 600 rpm, (a) *non seeding*, (b) *seeding*



Gambar 13. Grafik distribusi massa ukuran kristal, variabel 90°C, 700 rpm, (a) *non seeding*, (b) *seeding*

Dari grafik di atas terlihat distribusi padatan kristal pada beberapa ukuran mesh. Setelah mengetahui distribusi ukurannya, dilakukan perhitungan rata-rata ukuran padatan kristal. Ukuran rata-rata kristal dihitung dengan persamaan $U = \sum x_i d_i$. Dimana U = ukuran rata-rata; x_i = fraksi massa partikel pada d_i , dan d_i = diameter rata-rata. [5]. Persamaan tersebut dipakai karena hanya didapatkan data massa dan ukuran. Dari hasil perhitungan diperoleh hasil ukuran kristal rata-rata yang disajikan pada grafik di bawah ini.



Gambar 14. Grafik pengaruh kecepatan pengadukan terhadap ukuran kristal

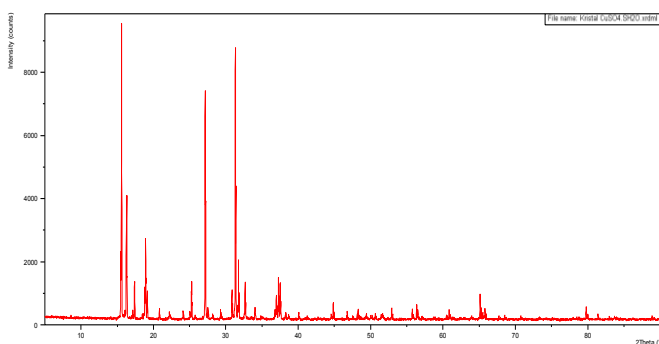
Gambar di atas menunjukkan pengaruh kecepatan pengadukan terhadap ukuran kristal. Pada perlakuan *non seeding* dan *seeding* menunjukkan bahwa pengadukan mempengaruhi kristal yang terbentuk ukurannya relatif semakin kecil dan cenderung homogen. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya pengadukan maka akan menyebabkan inti-inti kristal yang terbentuk akan menyebar dan tidak saling bergabung atau tidak tumbuh menjadi kristal yang ukurannya lebih besar.

Sementara, untuk variabel tanpa pengadukan, kristal yang terbentuk ukurannya cukup besar (mencapai 2 mm) dan heterogen. Hal ini terjadi karena tidak ada pengaruh pengadukan yang membuat inti kristal menyebar sehingga inti kristal mudah bergabung membentuk kristal yang lebih besar.

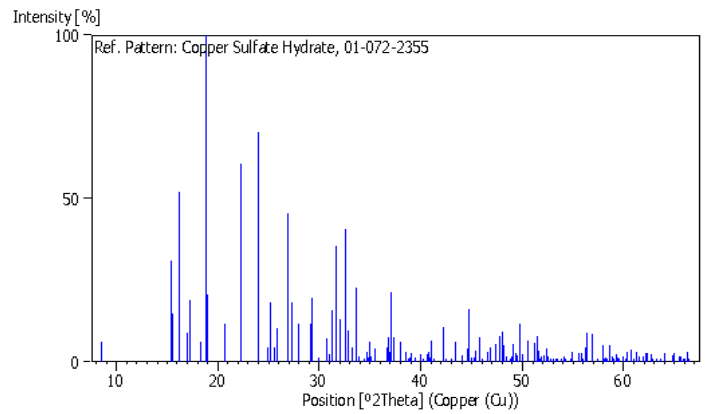
Pada kondisi *seeding* menunjukkan bahwa ukuran kristal yang terbentuk sedikit lebih besar daripada kondisi *non seeding*. Hal ini dikarenakan penambahan *seed* menyebabkan peningkatan pembentukan inti kristal yang membuat pertumbuhannya cenderung meningkat.

F. Hasil Analisa XRD

Untuk membuktikan kristal hasil percobaan berupa $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dan mengetahui struktur kristal tersebut, dilakukan analisa *X-Ray Diffraction* (XRD). Dari analisa ini diperoleh grafik hasil analisa XRD seperti pada gambar berikut.



Gambar 15. Grafik hasil analisa XRD



Gambar 16. Grafik standard $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ XRD

Kemudian grafik hasil analisa XRD sampel dibandingkan dengan grafik standard $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Berdasarkan analisa tersebut, diketahui bahwa kristal hasil percobaan merupakan kristal $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. Hal ini sesuai dengan data standard kristal $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dengan kode referensi 01-072-2355.

Dari analisa XRD ini juga bisa diketahui struktur kristal $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ hasil penelitian. Hasil analisa menunjukkan sampel kristal $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ memiliki struktur anorthik atau triklinik. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa kristal $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ memiliki struktur triklinik. [6]

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah kristal $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dengan 99% yield dan ukuran kristal rata-rata 0,7 mm dapat dibuat dari tembaga bekas kumparan dengan suhu reaksi 90°C, penambahan *seed*, dan pengadukan kristalisasi 500 rpm; semakin tinggi suhu reaksi maka kelarutan $CuSO_4$ dalam air semakin besar sehingga semakin banyak yield kristal yang dihasilkan; kecepatan pengadukan cenderung tidak mempengaruhi yield kristal yang dihasilkan, namun berpengaruh terhadap ukuran kristal; pengadukan akan membuat ukuran kristal lebih kecil daripada tanpa pengadukan; pengondisian *seeding* dapat menaikkan yield kristal sekitar 10,72 – 27,13 % jika dibandingkan dengan *non seeding* dikarenakan terjadinya *heterogeneous nucleation*; Berdasarkan analisa XRD, kristal $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ hasil percobaan sesuai dengan data standard XRD kode referensi 01-072-2355

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ronald Walsh, "Machining and Metal Working Handbook", New York: Mc Graw Hill (1994)
- [2] Kleinfelter Keenan Wood, "Kimia Untuk Universitas", Jilid 2, Edisi Keenam, Jakarta: Erlangga (1992)
- [3] G. Shevla, "Macro and Semimacro Qualitative Inorganic Analysis", Fifth Edition, London and New York: Longman (1997)
- [4] Robert E. Lenga, "The Sigma-Aldrich Library of Chemical Safety Data", Edition II, Singapore: Sigma-Aldrich Corporation (1988)
- [5] Robert H. Perry, "Perry's Chemical Engineering Handbook", 7th Edition. USA: McGraw-Hill International Book Company (1973)
- [6] S.H. Maron dan J.B. Lando, "Fundamentals of Physical Chemistry", USA: Macmillan Publishing (1974)