

## Optimalisasi pH pada Pelindian Emas dari Batuan Sinabar dengan Larutan Klorida-Hipoklorit

Anggi Saputra<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Lampung

e-mail : [anggisaputra@polinela.ac.id](mailto:anggisaputra@polinela.ac.id)

\*corresponding author

### INFORMASI ARTIKEL

Diterima 10 Juli 2024  
Direvisi 15 Juli 2024  
Diterbitkan 06 Agustus 2024

#### Kata kunci:

pelindian emas,  
klorida-hipoklorit, batuan  
sinabar

### ABSTRAK

Pelindian emas dengan larutan klorida-hipoklorit berpotensi menjadi alternatif yang menjanjikan untuk ekstraksi emas yang ramah lingkungan, menggantikan metode sianidasi dan amalgamasi yang berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pH terhadap proses pelindian emas khususnya dari batuan sinabar yang berasal dari Pulau Buru Kepulauan Maluku. Tahapan yang dilakukan pada penelitian meliputi preparasi dan karakterisasi sampel batuan, penentuan kadar emas total dalam batuan, dan pelindian dengan larutan klorida-hipoklorit. Karakterisasi awal batuan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui komposisi unsur serta jenis mineral pada batuan. Adapun pengukuran kadar emas menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Pengaruh dari pH larutan awal klorida-hipoklorit diteliti melalui variasi pH pada rentang 3-7. Peningkatan emas terlindi terjadi seiring dengan penurunan pH awal larutan klorida-hipoklorit hingga pH 4. Persentase emas optimum sebesar 43,25% diperoleh pada kondisi pelindian NaOCl 0,19 M, NaCl 200 g/L, rasio S/L 1:20 selama 5 jam dengan pH larutan klorida-hipoklorit awal sebesar 4.

## Optimization of pH in Leaching Gold from Sinabar Rock with Chloride-Hypochlorite Solution

### ARTICLE INFO

Received July 10, 2024  
Revised July 15, 2024  
Published August 06, 2024

#### Keyword:

gold leaching,  
chloride-hypochlorite,  
cinnabar rock

### ABSTRACT

Gold leaching with chloride-hypochlorite solution has the potential to be a promising alternative for environmentally friendly gold extraction, replacing cyanidation and amalgamation methods that are harmful to the environment and health. This study aims to study the effect of pH on the gold leaching process, especially from cinnabar rocks originating from Buru Island, Maluku Islands. The stages carried out in the study include preparation and characterization of rock samples, determination of total gold content in rocks, and leaching with chloride-hypochlorite solution. Initial rock characterization was carried out using *Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) and *X-ray diffraction* (XRD) to determine the elemental composition and types of minerals in the rocks. The measurement of gold content was done using an atomic absorption spectrophotometer (AAS). The effect of the pH of the initial chloride-hypochlorite solution was studied through pH variations in the range of 3-7. The increase in leached gold occurred along with the decrease in the initial pH of the chloride-hypochlorite solution to pH 4. The optimum gold percentage of 43.25% was obtained under leaching conditions of 0.19 M NaOCl, 200 g/L NaCl, S/L ratio of 1:20 for 5 hours with an initial pH of the chloride-hypochlorite solution of 4.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil emas dengan potensi endapan emas tersebar hampir di setiap daerah termasuk Kepulauan Maluku. Salah satu daerah penambangan rakyat yang ditemukan di Kepulauan Maluku berada di Pulau Buru dengan jenis batuan sinabar sebagai mineral pembawa emas [1]. Minerologi dari batuan yang mengandung emas bergantung pada proses pembentukannya. Umumnya, mineral pembawa emas berasosiasi dengan kuarsa, karbonat, turmalin, floupar, dan endapan sulfida. Selain itu, mineral pembawa emas juga dapat berasosiasi dengan mineral merkuri seperti corderoit, tiemanit, coloradoit, ataupun amalgam perak merkuri [2].

Pelindian merupakan proses ekstraksi logam berharga secara selektif dari bijih dengan pelarut. Metode pelindian yang umumnya digunakan untuk ekstraksi emas adalah sianidasi. Metode ini memiliki keunggulan diantaranya adalah prosesnya sederhana, biaya operasional relatif murah, serta persentase perolehan emas yang tinggi [3]. Disisi lain, penggunaan sianida menimbulkan masalah lingkungan yang serius disebabkan toksisitasnya yang tinggi sehingga penggunaannya mulai dibatasi. Salah satu metode alternatif pelindian ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk ekstraksi emas adalah dengan larutan klorida-hipoklorit [4],[5]. Pada metode ini, ion hipoklorit bertindak sebagai oksidator dan klorida sebagai pengompleks emas membentuk kompleks  $[AuCl_4]$ . Metode ini memiliki keunggulan dibandingkan sianidasi yaitu laju pelindiannya lima kali lebih cepat dibandingkan sianidasi teraerasi [6] serta memiliki kemampuan untuk mengoksidasi mineral sulfida (seperti pirit, arsenopirit dan sinabar), yang merupakan *refractory ore*, memperlambat laju pelindian pada sianidasi [7].

Beberapa faktor yang berpengaruh pada pelindian emas dengan larutan klorida-hipoklorit diantaranya konsentrasi ion klorida dan hipoklorit, pH, suhu, dan rasio massa batuan terhadap larutan klorida-hipoklorit (rasio padat/cair). Pengaruh konsentrasi ion klorida dan hipoklorit telah diteliti sebelumnya. Peningkatan konsentrasi ion klorida hingga 200 g/L mampu menghasilkan perolehan emas maksimum. Adapun peningkatan konsentrasi ion hipoklorit dalam larutan tidak memberikan peningkatan yang signifikan, namun dibutuhkan konsentrasi ion hipoklorit yang cukup tinggi untuk menyediakan kondisi oksidasi dan stabilisasi kompleks emas [8] dimana penggunaan NaOCl optimum pada konsentrasi NaOCl 0,19 M [5]. Kecepatan pengadukan berpengaruh terhadap instensitas interaksi antara larutan pelindi dengan batuan dimana kecepatan 600 rpm digunakan mampu meningkatkan persentase pelindian emas secara maksimal. Selain itu, penggunaan suhu diatas 55°C dapat memberikan efek negatif disebabkan terjadinya dekomposisi oksidan yang digunakan sehingga menyebabkan turunnya potensial larutan yang memungkinkan pengendapan kembali emas yang terlindi. Pengaruh kondisi pH awal dari larutan klorida-hipoklorit terhadap laju pelindian telah dilaporkan [5] dimana pH awal larutan 7,3 mampu menghasilkan laju pelindian sangat cepat yaitu 63% dalam waktu 0,25 jam. Meskipun semua faktor telah diteliti sebelumnya, akan tetapi belum ada penelitian yang khusus mempelajari pelindian emas dari batuan sinabar dengan larutan klorida-hipoklorit. Penelitian ini hanya akan berfokus dalam mempelajari pengaruh pH terhadap laju pelindian emas dengan larutan klorida-hipoklorit.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Preparasi dan Karakterisasi Batuan

Sampel batuan yang digunakan pada penelitian ini merupakan batuan sinabar yang berasal dari Pulau Buru Kepulauan Maluku. Preparasi batuan sinabar meliputi tahapan pengecilan ukuran, penghalusan, dan pengayakan hingga diperoleh ukuran 40-80 mesh. Sampel batuan selanjutnya dikeringkan pada suhu 105°C untuk menghilangkan kadar air lalu dianalisis unsur penyusun menggunakan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) Bruker dan jenis mineral menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) PAN Analytical.

### 2.2. Penentuan Kadar Emas Total

Penentuan kadar emas total dalam batuan dilakukan melalui destruksi sampel batuan menggunakan aqua regia lalu dilanjutkan pengukuran menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Mula-mula sebanyak 3 gram sampel batuan ditimbang lalu dimasukkan kedalam labu refluks. Sebanyak 28 mL aqua regia (campuran 21 mL HCl 37% dengan 7 mL HNO<sub>3</sub> 69%) ditambahkan kedalam labu refluks lalu direaksikan pada suhu kamar selama 16 jam lalu pada suhu 130°C selama 2 jam dalam kondisi refluks [9]. Larutan hasil destruksi didekantasi lalu diencerkan dengan HNO<sub>3</sub> 0,5 M hingga 100 mL untuk selanjutnya dianalisis kadar emas menggunakan AAS.

### 2.3. Pelindian Emas dengan Larutan Klorida-Hipoklorit

Mula-mula sebanyak 60 mL larutan klorida-hipoklorit dengan pH 7 dibuat dengan melarutkan 12 gram NaCl dalam aquades lalu diikuti dengan penambahan 6 mL NaOCl 12% serta HCl 0,5 M. Selanjutnya, sebanyak 3 gram sampel batuan direaksikan dengan larutan klorida-hipoklorit. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirer* dengan kecepatan 600 rpm selama 5 jam pada suhu kamar. Hasil pelindian selanjutnya disaring dan filtratnya diencerkan hingga 100 mL untuk dianalisis kadar emasnya menggunakan AAS. Prosedur yang sama dilakukan pada sampel batuan namun dengan memvariasi pH awal larutan klorida-hipoklorit menjadi 3, 4, 5, dan 6.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

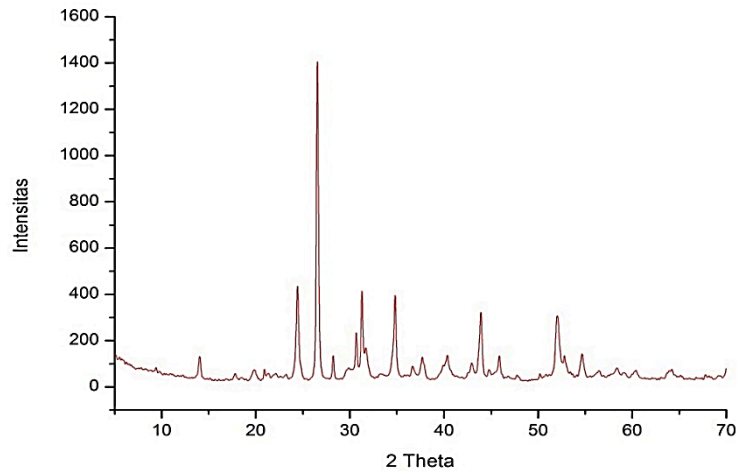
### 3.1. Karakteristik Batuan

Karakterisasi menggunakan SEM-EDX menunjukkan komposisi unsur-unsur penyusun sampel batuan. Komposisi unsur dari sampel batuan ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1. diketahui bahwa komponen mayor dalam batuan adalah logam merkuri (Hg) dan besi (Fe) dengan persentase 32,66% dan 10,46% secara berturut-turut serta kandungan emas sebesar 5,29%. Persentase massa yang ditampilkan hanya mewakili komposisi unsur dipermukaan saja. Walaupun demikian, data yang diperoleh memberikan informasi adanya kandungan emas serta informasi komponen logam mayor dalam batuan sebagai data dukung penentuan jenis mineral dalam batuan.

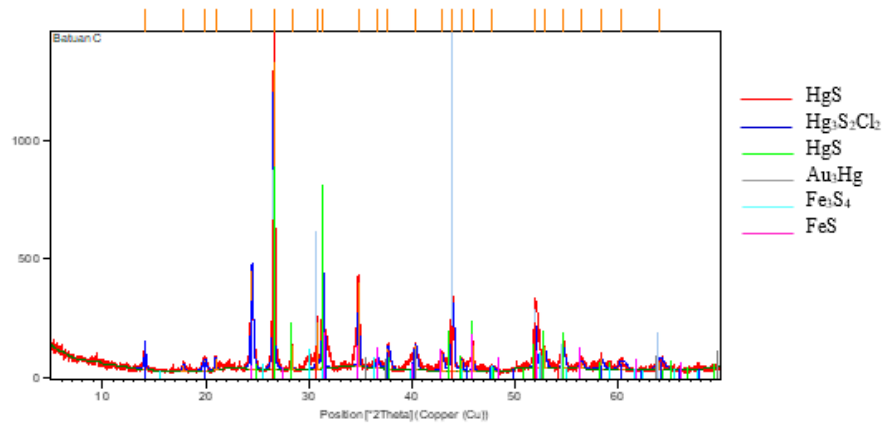
Tabel 1. Komponen unsur penyusun batuan

| Komponen Utama | Persen Massa (%) |
|----------------|------------------|
| O              | 39,91            |
| Hg             | 32,66            |
| Fe             | 10,46            |
| Au             | 5,29             |
| S              | 4,33             |
| Cl             | 2,46             |
| Si             | 1,95             |
| Sb             | 1,73             |
| Br             | 0,57             |
| Na             | 0,53             |
| Al             | 0,11             |

Difraktogram dari sampel batuan ditampilkan pada Gambar 1. Data difraktogram yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak *X'Pert Highscore Plus* untuk mengidentifikasi jenis mineral (fasa) pada batuan melalui identifikasi puncak-puncak  $2\theta$  sampel batuan dengan database sehingga dapat teridentifikasi jenis mineral dalam sampel batuan [10]. Hasil analisa menunjukkan difraktogram sampel memiliki kemiripan dengan *database* beberapa mineral seperti mineral cinnabar (HgS), corderoite ( $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$ ), weishanite ( $\text{Au}_3\text{Hg}$ ), greigite ( $\text{Fe}_3\text{S}_4$ ), dan besi sulfida (FeS) seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa logam mayor Hg dan Fe berada dalam bentuk mineral sulfida yaitu cinnabar (HgS) dan besi sulfida (FeS).



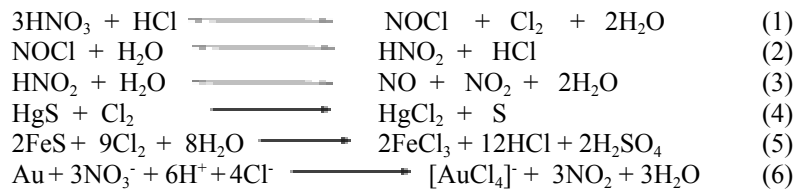
Gambar 1. Difraktogram sampel batuan



Gambar 2. Hasil analisa difraktogram sampel batuan dengan X'Pert High Score Plus

### 3.2. Destruksi dengan Aqua Regia

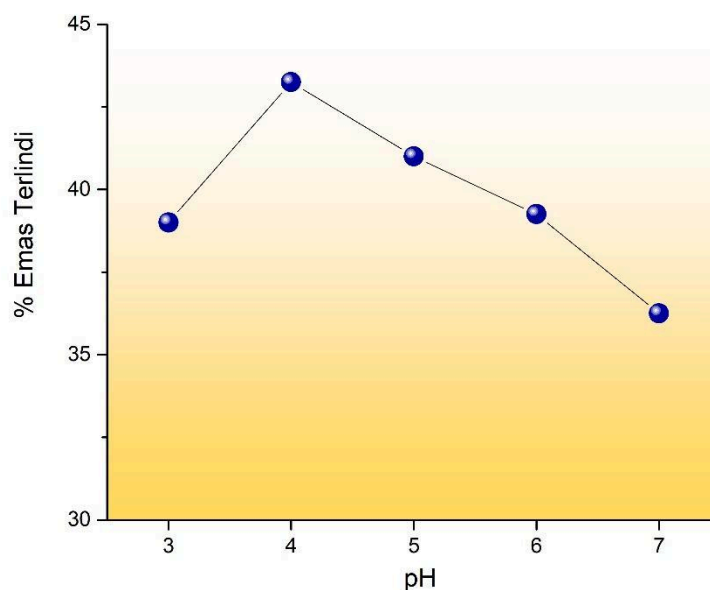
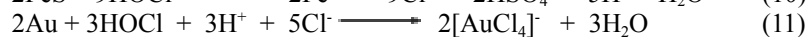
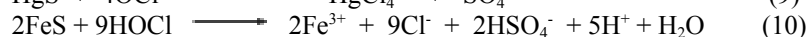
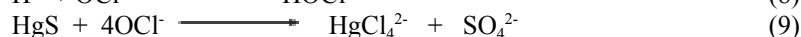
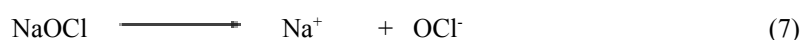
Destruksi menggunakan aqua regia bertujuan melarutkan seluruh logam pada sampel batuan baik mineral cinnabar ( $\text{HgS}$ ) maupun besi sulfida ( $\text{FeS}$ ) sebagai matriks pengikat emas maupun weishanite ( $\text{Au}_3\text{Hg}$ ) sebagai mineral emas. Pemanasan pada proses destruksi dilakukan untuk memaksimalkan reaksi yang terjadi. Adapun penggunaan sistem refluks bertujuan untuk menghilangkan senyawa nitrat yang terbentuk selama reaksi. Selama proses destruksi, reaksi antara  $\text{HCl}$  dan  $\text{HNO}_3$  dapat menghasilkan gas  $\text{Cl}_2$  dan  $\text{NOCl}$  [11] yang merupakan oksidator kuat. Logam emas dalam batuan akan bereaksi dengan gas klorin dalam aqua regia membentuk kompleks  $[\text{AuCl}_4]^-$ . Reaksi yang terjadi selama proses destruksi ditampilkan pada persamaan reaksi di bawah ini:



Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan AAS, diperoleh kadar emas total dalam sampel batuan sebesar 0,0037% (w/w).

### 3.3. Pengaruh pH terhadap Pelindian Emas dengan larutan klorida-hipoklorit

Pelindian yang telah dilakukan menggunakan konsentrasi NaOCl 0,19 M, 200 g/L NaCl, rasio sampel batuan dengan larutan pelindi 1:20, kecepatan pengadukan 600 rpm, dan waktu reaksi 5 jam. Proses pelindian sangat dipengaruhi kondisi pH awal larutan pelindi. Hasil pelindian emas dengan larutan klorida-hipoklorit pada variasi pH 3–7 ditampilkan pada Gambar 3. Persentase perolehan emas terlindi maksimum diperoleh pada pH 4 dengan persen emas terlindi sebesar 43,25%. Peningkatan jumlah emas terlindi dengan semakin menurunnya pH disebabkan oleh meningkatnya spesi HClO yang terbentuk dalam larutan. Berdasarkan diagram pourbaix larutan klorida-hipoklorit, spesi HClO mulai dominan pada pH dibawah 7,5 dimana HClO merupakan oksidator yang jauh lebih kuat dibandingkan dengan ion hipoklorit (ClO<sup>-</sup>) sehingga mampu meningkatkan laju pelindian emas [5]. Adapun penurunan persentase emas terlindi terjadi pada pH 3 dengan perolehan sebesar 39%. Penurunan ini dimungkinkan terjadi karena berkurangnya spesi HClO yang terbentuk dalam larutan klorida-hipoklorit dibandingkan pada pH 4 dan mulai terbentuknya spesi Cl<sub>2</sub>. Berdasarkan pada diagram pourbaix larutan klorida-hipoklorit, pada pH < 3,5 spesi Cl<sub>2</sub> mulai terbentuk dan berkemungkinan lepas ke udara sehingga menurunkan kemampuan oksidasi dari larutan pelindi yang digunakan. Reaksi yang terjadi selama proses pelindian ditampilkan pada persamaan reaksi berikut:



**Gambar 3.** Pengaruh pH terhadap persentase emas terlindi pada pelindian dengan larutan klorida-hipoklorit

## 4. KESIMPULAN

Pelindian emas dengan reagen ramah lingkungan yaitu larutan klorida-hipoklorit pada batuan sinabar dari Pulau Buru Kepulauan Maluku telah dilakukan. Persentase emas terlindi sangat dipengaruhi oleh pH awal larutan klorida-hipoklorit dimana persentase emas terlindi optimum pada pH 4 dengan perolehan sebesar 43,25% dengan kondisi pelindian NaOCl 0,19 M, NaCl 200 g/L, rasio S/L 1:20, kecepatan pengadukan 600 rpm, serta waktu pelindian 5 jam. Sedangkan persentase emas terlindi terendah diperoleh pada pH 7 dengan perolehan sebesar 36,35%.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] U. S. Tuaputy and E. I. K. Putri, "Eksternalitas Pertambangan Emas Rakyat di Kabupaten Buru Maluku," 2014.
- [2] J. H. Kyle, P. L. Breuer, K. G. Bunney, and R. Pleyzier, "Review of trace toxic elements (Pb, Cd, Hg, As, Sb, Bi, Se, Te) and their deportment in gold processing: Part II: Deportment in gold ore processing by cyanidation," *Hydrometallurgy*, vol. 111–112, pp. 10–21, Jan. 2012.
- [3] A. Kargar and S. Mohammadnejad, "The cyanidation of sub microscopic gold: An experimental and molecular modeling study," *Hydrometallurgy*, vol. 222, p. 106177, Oct. 2023.
- [4] M. G. Hasab, F. Rashchi, and Sh. Raygan, "Chloride–hypochlorite leaching and hydrochloric acid washing in multi-stages for extraction of gold from a refractory concentrate," *Hydrometallurgy*, vol. 142, pp. 56–59, Feb. 2014.
- [5] M. Baghalha, "Leaching of an oxide gold ore with chloride/hypochlorite solutions," *International Journal of Mineral Processing*, vol. 82, no. 4, pp. 178–186, Jun. 2007.
- [6] T. Tran, K. Lee, K. Fernando, T. Tran, K. Lee, and K. Fernando, "Halide as an alternative lixiviant for gold processing; an update," Jan. 2001.
- [7] M. G. Hasab, S. Raygan, and F. Rashchi, "Chloride–hypochlorite leaching of gold from a mechanically activated refractory sulfide concentrate," *Hydrometallurgy*, vol. 138, pp. 59–64, Jun. 2013.
- [8] M. G. Hasab, F. Rashchi, and S. Raygan, "Simultaneous sulfide oxidation and gold leaching of a refractory gold concentrate by chloride–hypochlorite solution," *Minerals Engineering*, vol. 50–51, pp. 140–142, Sep. 2013.
- [9] S. Melaku, R. Dams, and L. Moens, "Determination of trace elements in agricultural soil samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry: Microwave acid digestion versus aqua regia extraction," *Analytica Chimica Acta*, vol. 543, no. 1, pp. 117–123, Jul. 2005.
- [10] J. Xiao, Y. Song, and Y. Li, "Comparison of Quantitative X-ray Diffraction Mineral Analysis Methods," *Minerals*, vol. 13, no. 4, Art. no. 4, Apr. 2023.
- [11] M. Massucci, S. L. Clegg, and P. Brimblecombe, "Equilibrium Partial Pressures, Thermodynamic Properties of Aqueous and Solid Phases, and Cl<sub>2</sub> Production from Aqueous HCl and HNO<sub>3</sub> and Their Mixtures," *The Journal of Physical Chemistry Part A: Molecules, Spectroscopy, Kinetics, Environment and General Theory*, vol. 103, no. 21, pp. 4209–4226, May 1999.