

KUANTIFIKASI FASE MINERAL PEMBAWA TEMBAGA DALAM KONSENTRAT TEMBAGA ANTAR-BLOK PENAMBANGAN DENGAN METODE RIETVELD

AYU AMIRA KAYANA PURBA



PROGRAM STUDI ANALISIS KIMIA
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI LAPORAN PROYEK TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa laporan akhir dengan judul “Kuantifikasi Fase Mineral Pembawa Tembaga dalam Konsentrat Tembaga Antar-Blok Penambangan dengan Metode Rietveld” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir proyek tugas akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2026

Ayu Amira Kayana Purba
J0412221150



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

AYU AMIRA KAYANA PURBA. Kuantifikasi Fase Mineral Pembawa Tembaga dalam Konsentrat Tembaga Antar-Blok Penambangan dengan Metode Rietveld. Dibimbing oleh DIMAS ANDRIANTO.

Evaluasi kualitas konsentrat tembaga berbasis kadar Cu total belum menunjukkan fase mineral pembawa Cu. Penelitian ini bertujuan menentukan fase mineral pembawa Cu dan kadar Cu kristalin menggunakan Rietveld *refinement* berbasis *X-ray Diffraction* (XRD), serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan kadar Cu total hasil *Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry* (ICP-OES). Sampel dari lima lokasi dikeringkan, diseragamkan hingga 45 μm , dianalisis menggunakan XRD, dan dikuantifikasi melalui Rietveld *refinement*. Hasil menunjukkan konsentrat tembaga didominasi kalkopirit sebesar 73,22-77,54 wt% dan pirit sebesar 22,46-26,78 wt%. Variasi lokasi ditunjukkan oleh lokasi B dengan kalkopirit dan Cu kristalin tertinggi, sedangkan lokasi C terendah. Kadar Cu kristalin berada pada rentang 25,35-26,85 wt%. Analisis statistik menunjukkan hubungan sangat kuat dan tidak terdapat perbedaan signifikan antara XRD-Rietveld dan ICP-OES. XRD-Rietveld berpotensi menjadi pendekatan komplementer dalam evaluasi kualitas konsentrat tembaga berbasis fase mineral pembawa Cu.

Kata kunci: fase mineral, ICP-OES, konsentrat tembaga, Rietveld *refinement*, XRD

ABSTRACT

AYU AMIRA KAYANA PURBA. Quantification of Copper Mineral Phases in Copper Concentrate Across Mining Blocks Using the Rietveld Method. Supervised by DIMAS ANDRIANTO.

Evaluating copper concentrate quality based solely on total Cu content does not reveal the mineral phases carrying the Cu. This study aims to determine the Cu-bearing mineral phases and crystalline Cu content using Rietveld refinement based on X-ray Diffraction (XRD), as well as to evaluate its consistency with the total Cu content obtained from Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES). Samples from five locations were dried, homogenized to 45 μm , analyzed using XRD, and quantified via Rietveld refinement. The results show that the copper concentrate is dominated by chalcopyrite at 73.22-77.54 wt% and pyrite at 22.46-26.78 wt%. Locational variation was demonstrated by Location B, which exhibited the highest chalcopyrite and crystalline Cu content, while Location C was the lowest. The crystalline Cu content ranged from 25.35 to 26.85 wt%. Statistical analysis indicated a very strong correlation and no significant difference between the XRD-Rietveld and ICP-OES methods. XRD-Rietveld has the potential to serve as a complementary approach in evaluating copper concentrate quality based on its Cu-bearing mineral phases.

Keywords: copper concentrate, ICP-OES, mineral phases, Rietveld refinement, XRD



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

KUANTIFIKASI FASE MINERAL PEMBAWA TEMBAGA DALAM KONSENTRAT TEMBAGA ANTAR-BLOK PENAMBANGAN DENGAN METODE RIETVELD

AYU AMIRA KAYANA PURBA

Laporan Proyek Tugas Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Terapan pada
Program Studi Analisis Kimia

**PROGRAM STUDI ANALISIS KIMIA
SEKOLAH VOKASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji pada Ujian Proyek Tugas Akhir: Nindya Tri Muliawati, S,Si., M.Sc.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Proyek Akhir : Kuantifikasi Fase Mineral Pembawa Tembaga dalam Konsentrat Tembaga Antar-Blok Penambangan dengan Metode Rietveld

Nama : Ayu Amira Kayana Purba
NIM : J0412221150

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Dimas Andrianto, S.Si., M.Si.
NIP. 198311192009121003



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Farida Laila, S.Si., M.Si.
NIP. 197611032014092002

Dekan Sekolah Vokasi:
Dr. Ir. Aceng Hidayat, M.T.
NIP. 196607171992031003





Tanggal Ujian: 3 Juli 2026

Tanggal Lulus:



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2026 sampai bulan April 2026 ini ialah Analisis Mineralogi Berbasis Difraksi Sinar-X, dengan judul “Kuantifikasi Fase Mineral Pembawa Tembaga dalam Konsentrat Tembaga Antar-Blok Penambangan dengan Metode Rietveld”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Dr. Dimas Andrianto, S.Si., M.Si. yang telah membimbing dan banyak memberikan saran. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pembimbing akademik Dr. Novia Amalia Sholeha, S.Si. serta dosen penguji laporan proyek akhir Nindya Tri Muliawati, S.Si., M.Sc. Penghargaan penulis sampaikan kepada Bapak Taufik Ismail selaku kepala Balai Laboratorium Bea dan Cukai yang telah memberi izin penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ayah Suprabudi Purba, Ibu Siti Fatimah, Kakak Nurmian Sari Purba, Kakak Dennis Affandi Purba, Ibnu Jarier Yusuf, serta sahabat-sahabat tercinta Fairuz, Jihan, Syifa, Nazwa, Riva, dan Fuji yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya kepada penulis dari awal kuliah sampai tahap mengerjakan tugas akhir.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2026

Ayu Amira Kayana Purba



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR PERSAMAAN	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tembaga	4
2.2 Konsentrat Tembaga	4
2.3 Fase Mineral	5
2.4 Mineral Pengotor	9
2.5 Analisis Kuantitatif Fase Mineral	10
2.6 <i>X-ray Diffraction</i>	11
2.7 Metode Kuantitatif XRD	11
2.8 <i>Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry</i>	13
III METODE	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Prosedur Kerja	14
3.4 Analisis statistik data	18
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Hasil Identifikasi Pola Difraksi Sinar-X Konsentrat Tembaga	19
4.2 Hasil Evaluasi Rietveld <i>Refinement</i>	21
4.3 Hasil Kuantifikasi Fase Mineral dan Cu Kristalin Metode Rietveld	27
4.4 Hasil Kadar Cu Berdasarkan ICP-OES	28
4.5 Hasil Perbandingan XRD-Rietveld dan ICP-OES	30
V SIMPULAN DAN SARAN	35
5.1 Simpulan	35
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	42
RIWAYAT HIDUP	48



DAFTAR TABEL

3.1	Kondisi pengukuran instrumen XRD	16
3.2	Kondisi operasional instrumen ICP-OES	18
4.1	Intensitas puncak difraksi utama setiap sampel	20
4.2	Parameter kesesuaian hasil Rietveld pada sampel konsentrat tembaga	23
4.3	Parameter kristal fase kalkopirit hasil Rietveld <i>refinement</i>	24
4.4	Parameter kristal fase pirit hasil Rietveld <i>refinement</i>	25
4.5	Hasil kuantifikasi fase mineral dan kadar Cu metode XRD-Rietveld	27
4.6	Hasil pengukuran kadar Cu menggunakan ICP-OES	29
4.7	Perbandingan kadar Cu hasil XRD-Rietveld dan ICP-OES	31
4.8	Ringkasan hasil statistik kesesuaian metode XRD dan ICP-OES	32

DAFTAR GAMBAR

2.1	Susunan atom Cu pada bidang (111), (200), dan (220) dalam struktur <i>face-centered cubic</i> (Gao <i>et al.</i> 2019)	4
2.2	Tingkat Pembebasan mineral tembaga dalam bijih dari ukuran besar ke kecil (Bilal <i>et al.</i> 2022)	5
2.3	Variasi komposisi mineral tembaga pada konsentrat dengan konsentrasi > 0,01% (Delbeke dan Rodriguez 2014)	6
2.4	Sampel batuan kalkopirit (CuFeS_2) (Setyawan 2013)	6
2.5	Sampel batuan bornit (Cu_5FeS_4) (Setyawan 2013)	7
2.6	Sampel batuan kalkosit (Cu_2S) (Setyawan 2013)	8
2.7	Sampel batuan kovelit (CuS) (Setyawan 2013)	9
2.8	Skema mekanisme <i>entrainment</i> partikel pengotor halus dari <i>pulp</i> ke buih pada proses flotasi (Wang <i>et al.</i> 2020)	9
2.9	Pola difraksi sinar-X konsentrat tembaga hasil Rietveld <i>refinement</i> (Pernechele <i>et al.</i> 2021)	10
2.10	Skema geometri XRD (Ida 2025)	11
2.11	Skema analisis ICP-OES (Susanto <i>et al.</i> 2021)	13
3.1	Alur prosedur penelitian	15
4.1	Difraktogram XRD konsentrat tembaga sampel lokasi A sampai E	19
4.2	Pola hasil Rietveld <i>refinement</i> sampel konsentrat tembaga lokasi A-E	22
4.3	Tren perubahan parameter kisi a,b, dan c pada sampel A-E fase kalkopirit terhadap database COD	25
4.4	Tren perubahan parameter kisi a,b, dan c pada sampel A-E fase pirit terhadap database COD	26
4.5	Kurva kalibrasi Cu menggunakan ICP-OES	29
4.6	Bland-Altman plot perbandingan kadar Cu hasil XRD dan ICP-OES	34



DAFTAR PERSAMAAN

1 Hubungan antara faktor skala <i>refinemet</i> (S_i) dan fraksi berat fase (W_i)	12
2 Nilai <i>weighted profile residual</i> (R_{wp})	12
3 Nilai <i>expected residual</i> (R_{exp})	12
4 Parameter kesesuaian model (χ^2)	12

DAFTAR LAMPIRAN

1 Data ulangan hasil kuantifikasi fase mineral XRD-Rietveld	43
2 Parameter kualitas hasil Rietveld <i>refinement</i> pola difraksi sinar-X	44
3 Data kurva kalibrasi dan kadar Cu dengan ICP-OES	45
4 Contoh perhitungan kadar Cu dengan ICP-OES	46
5 Data pengukuran CRM OREAS 993b	46
6 Contoh perhitungan estimasi ketidakpastian kadar Cu XRD dan ICP-OES	46
7 Uji Bland-Altman metode XRD dan ICP-OES	47



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.