Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (2) 2025, Page: 6746-6759

Karakterisasi Kimia Tanah Penutup Tambang Tembaga Untuk Penilaian Risiko Lingkungan di Tonra, Sulawesi Selatan

Jenita Tandiarrang[1], Shintia Dewi[2]
[1,2]Program Studi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi dan Bisnis Nobel Indonesia
Corresponding Author: Jenita Tandiarrang, E-mail: Jenita@nobel.ac.id

Published: June, 2025

ABSTRAK

Pengambilan sampel tanah dilakukan di lima titik menggunakan metode channel sampling. Analisis kandungan logam berat dilakukan dengan menggunakan uji X-Ray Fluorescence (XRF), sementara pengamatan terhadap parameter kualitas tanah (pH, ORP, EC, dan TDS) dilakukan melalui uji kinetik selama ±30 hari. Data tambahan diperoleh melalui studi pustaka dan analisis peta geologi regional. **Hasil :** Hasil uji XRF menunjukkan dominasi senyawa Al_2O_3 (aluminium oksida), SiO_2 (silikon dioksida), dan Fe_2O_3 (ferri oksida) dengan konsentrasi tinggi. Tidak ditemukan kandungan senyawa sulfida yang berpotensi menghasilkan AAT. Uji kinetik menunjukkan bahwa nilai pH berada dalam kisaran netral (6,29–7,03), dan seluruh parameter lainnya berada dalam ambang batas aman sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 82 Tahun 2001. **Kesimpulan :** Tanah penutup di area eks tambang tembaga Tonra tidak menunjukkan indikasi pembentukan AAT. Hal ini dibuktikan oleh tidak ditemukannya mineral sulfida dan hasil uji kinetik yang menunjukkan kondisi kimia tanah yang stabil dan netral. Temuan ini menjadi dasar penting untuk pengelolaan lingkungan pasca tambang dan memberikan rekomendasi untuk penelitian lanjutan yang lebih mendalam melalui uji mineralogi dan uji statik.

Kata Kunci : Air Asam Tambang, logam berat, XRF, uji kinetik, pH tanah..

ABSTRACT

This study aims to assess the potential for acid mine drainage (AMD) formation in the overburden soil of a former copper mining site in Tonra, Bone Regency, South Sulawesi, Indonesia. Additionally, the study evaluates soil pH levels and identifies heavy metal content as a basis for assessing the environmental pollution risks caused by past mining activities. ***Materials and methods*** *: Soil samples were collected from five locations using the channel sampling method. The concentrations of heavy metals were analyzed using X-Ray Fluorescence (XRF), while changes in key soil quality parameters (pH, oxidation-reduction potential/ORP, electrical conductivity/EC, and total dissolved solids/TDS) were monitored through a kinetic test over a period of approximately 30 days. Supplementary data were obtained through literature review and regional geological map analysis.* ***Results :*** *XRF analysis revealed that Al_2O_3 (aluminum oxide), SiO_2 (silicon dioxide), and Fe_2O_3 (ferric oxide) were the predominant compounds present at high concentrations. No sulfide compounds, which are typically associated with AMD formation, were detected. The kinetic test indicated that pH values remained within a neutral range (6.29–7.03), and other measured parameters were within safe thresholds according to Indonesian Government Regulation No. 82 of 2001.* ***Conclusions :*** *The overburden soil at the former Tonra copper mining site does not exhibit potential for AMD generation. This conclusion is supported by the absence of sulfide minerals and stable, neutral soil chemistry shown in kinetic tests. These findings are significant for post-mining environmental management and provide a reference for future studies involving mineralogical and static testing.*

Keywords: *Acid Mine Drainage, Heavy metals, XRF, kinetic test, soil pH.*

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan yang muncul sebagai akibat dari aktivitas pertambangan menjadi sorotan utama bagi masyarakat dan lembaga pengatur. Operasi pertambangan, terutama dengan metode tambang terbuka, memiliki dampak langsung terhadap perubahan fisik, kimia, dan biologis lingkungan sekitar. Oleh karena itu, perencanaan pengelolaan lingkungan sudah seharusnya dilakukan sejak tahap eksplorasi

hingga proses penambangan (Hamdani & Senjaya, 2011). Salah satu dampak yang krusial dari kegiatan pertambangan adalah terbentuknya Air Asam Tambang (AAT), yaitu air dengan tingkat keasaman tinggi akibat oksidasi mineral sulfida, khususnya pirit (FeS_2), yang bereaksi dengan udara dan air (Gunawan et al., 2015). Air ini dapat melarutkan logam berat seperti Fe, Cu, Pb, Cd, dan As, lalu mencemari badan air di sekitarnya (Djuhariningrum, 2009).

Material overburden dan interburden yang menutupi atau berada di antara lapisan bijih berpotensi menjadi sumber AAT jika mengandung mineral sulfida. Ketika material ini terekspos atau ditimbun tanpa penanganan yang tepat, reaksi biogeokimia kompleks dapat menghasilkan asam sulfat yang membahayakan (Said et al., 2020). Secara geokimia, potensi AAT dapat diidentifikasi melalui dua pendekatan utama, yakni pengujian statik dan kinetik. Uji kinetik, seperti metode kolom atau humidity cell test, menggambarkan dinamika perubahan kualitas air sebagai hasil reaksi antara mineral dan air selama periode tertentu (Ferdian, 2020). Sementara itu, kandungan logam berat dapat diketahui melalui metode X-Ray Fluorescence (XRF) yang mampu menampilkan profil oksida logam dalam tanah (Kasmiani et al., 2018).

Wilayah Tonra di Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan, merupakan salah satu lokasi bekas eksplorasi tembaga tipe supergen yang belum dikembangkan menjadi tambang produksi. Secara geologi, kawasan ini masuk dalam Formasi Camba dan mengindikasikan adanya mineralisasi tembaga sekunder seperti malakit dan azurit, serta potensi kandungan mineral primer berupa kalkopirit (Sukamto, 1982). Mengingat pengaruh signifikan mineral sulfida terhadap kualitas air tanah dan air permukaan, maka perlu dilakukan kajian terhadap tanah penutup di wilayah ini (Raivel & Firman, 2020). Upaya ini penting sebagai langkah pencegahan terhadap dampak lingkungan jangka panjang sebagaimana diatur dalam PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Umum, 2005).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai pH serta kadar logam berat dalam tanah penutup bekas tambang tembaga di wilayah Tonra, dan mengevaluasi potensi terbentuknya air asam tambang melalui analisis XRF serta pengujian kinetik.pada penentuan nilai pH dan kandungan logam berat dalam tanah penutup bekas tambang tembaga di wilayah Tonra, serta mengevaluasi potensi pembentukan AAT melalui analisis XRF dan uji kinetik...

METODE PENELITIAN

Tahapan awal penelitian ini dimulai dengan studi literatur untuk memperoleh informasi pendukung yang relevan dengan topik. Literatur yang digunakan meliputi peta geologi, laporan penelitian terdahulu, dan data sekunder lainnya. Langkah selanjutnya adalah pengambilan sampel tanah di lapangan pada wilayah Tanjung, lokasi bekas aktivitas tambang. Pengambilan sampel tanah dilakukan di area yang menunjukkan indikasi bekas pertambangan. Tahapan berikutnya melibatkan analisis laboratorium

terhadap sampel tanah untuk mengukur nilai pH dan kandungan logam berat. Akhirnya, dilakukan evaluasi terhadap dampak potensial dari nilai pH dan kadar logam berat tersebut terhadap lingkungan.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang diperlukan dalam analisis. Data terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung dari lapangan melalui observasi, dokumentasi, pengambilan sampel, dan analisis laboratorium. Data sekunder mencakup informasi geologi regional dan posisi geografis lokasi penelitian.

1. DataPrimer

Data primer didapatkan dari observasi di lapangan, tahap ini terdiri dari:

a. Observasi singkapan

Dilakukan dengan mengidentifikasi singkapan tanah di lahan pasca tambang tembaga.

b. Pengamatan tanah

Mengamati bagian tanah yang menunjukkan perubahan warna dan tekstur sebagai indikasi anomali geologis.

c. Pengambilan contoh tanah

Sampel tanah diambil secara acak sistematis menggunakan alat seperti palu geologi. Setiap sampel seberat 1 kg disimpan dalam kantong khusus dan diberi kode..

d. Dokumentasi lapangan

Kegiatan ini melibatkan pengambilan foto singkapan tanah dan sampel, disertai keterangan dan kode identifikasi.

e. Melakukan analisis laboratorium.

Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengevaluasi nilai pH dan kandungan mineral logam dengan metode uji kinetik.

2. Data Sekunder

Pengambilan data sekunder yang menunjang penelitian adalah :

a. Studi Literatur

Memberikan dasar teoritis terkait penelitian yang dilakukan.

b. Peta Geologi DaerahPenelitian

Digunakan untuk memahami geologi regional lokasi penelitian.

Teknik Pengambilan Data

1. Sampling

Sampel tanah dikumpulkan menggunakan metode channel sampling, yaitu teknik pengambilan sampel dengan membuat alur pada permukaan setiap lapisan tanah secara horizontal, seragam, dan teratur. Gambar 1 dan 2 menunjukkan titik-titik lokasi pengambilan sampel yang tersebar di lima lokasi. Lokasi titik 1 dan 2 berada pada bekas lubang galian, sedangkan titik 3 berada sekitar 5 meter ke arah tenggara dari titik awal. Titik 4 terletak sekitar 7 meter ke arah timur laut dari titik sebelumnya. Masing-masing titik diilustrasikan dalam dokumentasi visual guna mempermudah identifikasi lapangan

Gambar 1 Titik-titik sampling

Gambar 2. Lokasi *sampling* (a), titik 1 (satu) (b), dan titik 2 (dua) (c)

Gambar 3 Titik sampling 3 (tiga) pada pit bekas penambangan

Gambar 4 Titik sampling 4 (empat) pada pit bekas penambangan

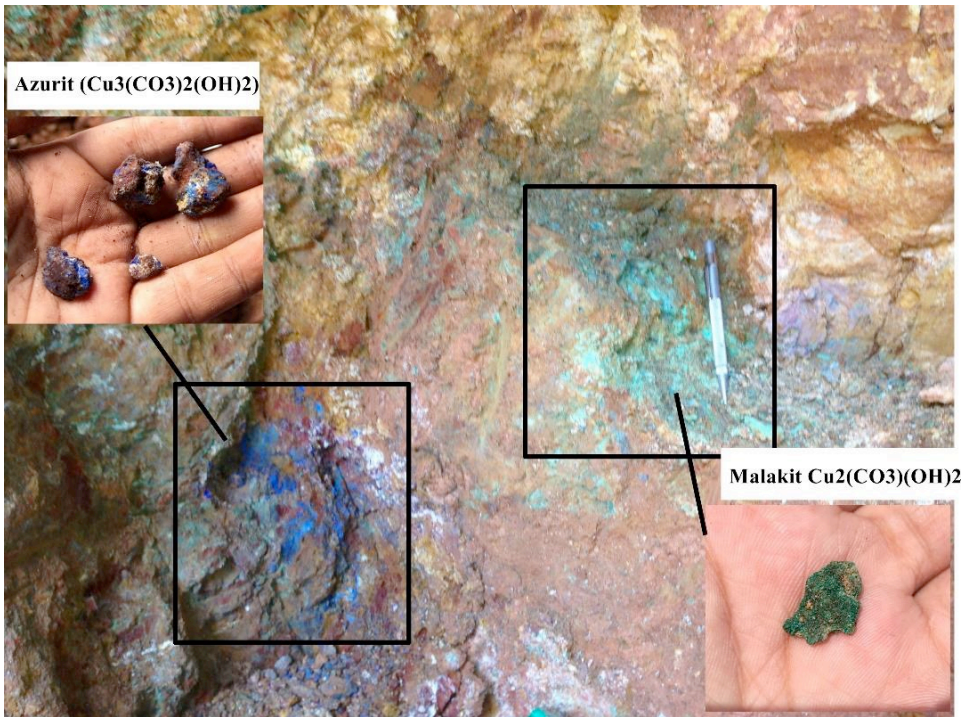
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Lapangan

Di Daerah Tonra, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan terdapat singkapan mineralisasi tembaga supergen yang berada pada batuan anggota Formasi Camba, dan secara geografis berdekatan dengan

intrusi diorit. Singkapan mineralisasi ini berasosiasi dengan alterasi yang mengubah batuan vulkanik anggota Formasi Camba tersebut. Indikasi awal mineralisasi ini merupakan bentuk malakit $Cu_2CO_3(OH)_2$ dan azurit $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$. Diharapkan terdapat indikasi tembaga primer Kalkopirit ($CuFeS_2$) yang diketahui merupakan salah satu mineral penting sebagai sumber tembaga (Cu).

Pada lahan bekas penambangan yang terindikasi sebagai tembaga supergen mineral malakit $Cu_2CO_3(OH)_2$ dan azurit $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$ dapat dilihat pada gambar 5, dan masih memperkirakan adanya keterdapatan tembaga primer kalkoparit ($CuFeS_2$) yang diketahui merupakan salah satu mineral penting sebagai sumber tembaga (Cu).



Gambar 5 Indikasi mineralisasi tembaga supergen.

Dilakukan penelitian dengan menggunakan analisis XRF (*X-ray flourescene*) dan Uji Kinetik sebanyak 4 (empat) sampel tanah selama ± 30 Hari/1 bulan untuk mengetahui potensi pembentukan Air Asam Tambang di daerah penelitian, karena diketahui bahwa sumber keasaman adalah mineral sulfida yang dapat teroksidasi. Sumber pengoksidasi yang utama adalah oksigen dalam udara [3].

Hasil yang didapatkan pada analisis XRF (*X-ray flourescene*) yaitu senyawa Al_2O_3 Aluminium Oksida, SiO_2 Silikon Dioksida, dan Fe_2O_3 Ferri Oksida yang tinggi, dan tidak ditemukan adanya senyawa sulfida pada 4 (empat) sampel hasil pengujian XRF (*X-ray flourescene*).

Hasil yang sering muncul pada analisis kinetik yaitu pada 14 Hari, 3 Hari dan 1 Hari sampel 1,2,3, dan 4 pada tabel 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 berikut:

a. ***Sampel 1***

Tabel 1 Hasil Sampel 1

No.	hari/tanggal	waktu penyiraman	sampel 01			
			pH	ORP	EC/CD	TDS
1	Sabtu, 20 Februari 2021	14 Hari	Kisaran 5	Kisaran -150an	Kisaran 80an	Kisaran 81,95an
2	Minggu, 21 Februari 2021					
3	Senin, 22 Februari 2021					
4	Selasa, 23 Februari 2021					
5	Rabu, 24 Februari 2021					
6	Kamis, 25 Februari 2021					
7	Jumat, 26 Februari 2021					
8	Sabtu, 27 Februari 2021					
9	Minggu, 28 Februari 2021					
10	Senin, 01 Maret 2021					
11	Selasa, 02 Maret 2021					
12	Rabu, 03 Maret 2021					
13	Kamis, 04 Maret 2021					
14	Jumat, 05 Maret 2021					
15	Senin, 08 Maret 2021	3 Hari	Kisaran 7	Kisaran -169an	Kisaran 120an	Kisaran 68,2an
16	Rabu, 10 Maret 2021					
17	Jumat, 12 Maret 2021					
18	Senin, 15 Maret 2021	1 Hari	6,75	-171	106,2	57,75

b. **Sampel 2**

Tabel 2 Hasil Sampel 2

No.	hari/tanggal	waktu penyiraman	sampel 02			
			pH	ORP	EC/CD	TDS
1	Sabtu, 20 Februari 2021	14 Hari	Kisaran 6	Kisaran -170an	Kisaran 110,9an	Kisaran 90,2an
2	Minggu, 21 Februari 2021					
3	Senin, 22 Februari 2021					
4	Selasa, 23 Februari 2021					
5	Rabu, 24 Februari 2021					
6	Kamis, 25 Februari 2021					
7	Jumat, 26 Februari 2021					
8	Sabtu, 27 Februari 2021					
9	Minggu, 28 Februari 2021					
10	Senin, 01 Maret 2021					
11	Selasa, 02 Maret 2021					
12	Rabu, 03 Maret 2021					
13	Kamis, 04 Maret 2021					
14	Jumat, 05 Maret 2021					
15	Senin, 08 Maret 2021	3 Hari	Kisaran 6	Kisaran -170an	Kisaran 100an	Kisaran 90an
16	Rabu, 10 Maret 2021					
17	Jumat, 12 Maret 2021					
18	Senin, 15 Maret 2021	1 Hari	6,23	-169	126,3	65,45

c. **Sampel 3**

Tabel 3 Hasil Sampel 3

No.	hari/tanggal	waktu penyiraman	sampel 03			
			pH	ORP	EC/CD	TDS
1	Sabtu, 20 Februari 2021	14 Hari	Kisaran 7	Kisaran -170an	Kisaran 126,8an	Kisaran 86,5an
2	Minggu, 21 Februari 2021					
3	Senin, 22 Februari 2021					
4	Selasa, 23 Februari 2021					
5	Rabu, 24 Februari 2021					
6	Kamis, 25 Februari 2021					
7	Jumat, 26 Februari 2021					
8	Sabtu, 27 Februari 2021					
9	Minggu, 28 Februari 2021					
10	Senin, 01 Maret 2021					
11	Selasa, 02 Maret 2021					
12	Rabu, 03 Maret 2021					
13	Kamis, 04 Maret 2021					
14	Jumat, 05 Maret 2021					
15	Senin, 08 Maret 2021	3 Hari	Kisaran 7	Kisaran -160an	Kisaran 133,8an	Kisaran 72,6an
16	Rabu, 10 Maret 2021					
17	Jumat, 12 Maret 2021					
18	Senin, 15 Maret 2021	1 Hari	7,73	-161	140,4	76,45

d. **Sampel 4**

Tabel 4 Hasil Sampel 4

No.	hari/tanggal	waktu penyiraman	sampel 04			
			pH	ORP	EC/CD	TDS
1	Sabtu, 20 Februari 2021	14 Hari	Kisaran 6	Kisaran -150an	Kisaran 101,9an	Kisaran 83,6an
2	Minggu, 21 Februari 2021					
3	Senin, 22 Februari 2021					
4	Selasa, 23 Februari 2021					
5	Rabu, 24 Februari 2021					
6	Kamis, 25 Februari 2021					
7	Jumat, 26 Februari 2021					
8	Sabtu, 27 Februari 2021					
9	Minggu, 28 Februari 2021					
10	Senin, 01 Maret 2021					
11	Selasa, 02 Maret 2021					
12	Rabu, 03 Maret 2021					
13	Kamis, 04 Maret 2021					
14	Jumat, 05 Maret 2021					
15	Senin, 08 Maret 2021	3 Hari	Kisaran 7	Kisaran -150an	Kisaran 121,9	Kisaran 81,4an
16	Rabu, 10 Maret 2021					
17	Jumat, 12 Maret 2021					
18	Senin, 15 Maret 2021	1 Hari	7,12	-170	98,9	78,1

Dari hasil uji kinetik tersebut diketahui bahwa 4 (empat) sampel tidak berpotensi terbentuk Air Asam Tambang dalam jangka waktu ± 30 hari, karena memiliki nilai pH, ORP, EC/CD dan TDS, yang masih termasuk dalam nilai ambang batas pencemaran air pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia

Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air Presiden Republik Indonesia.

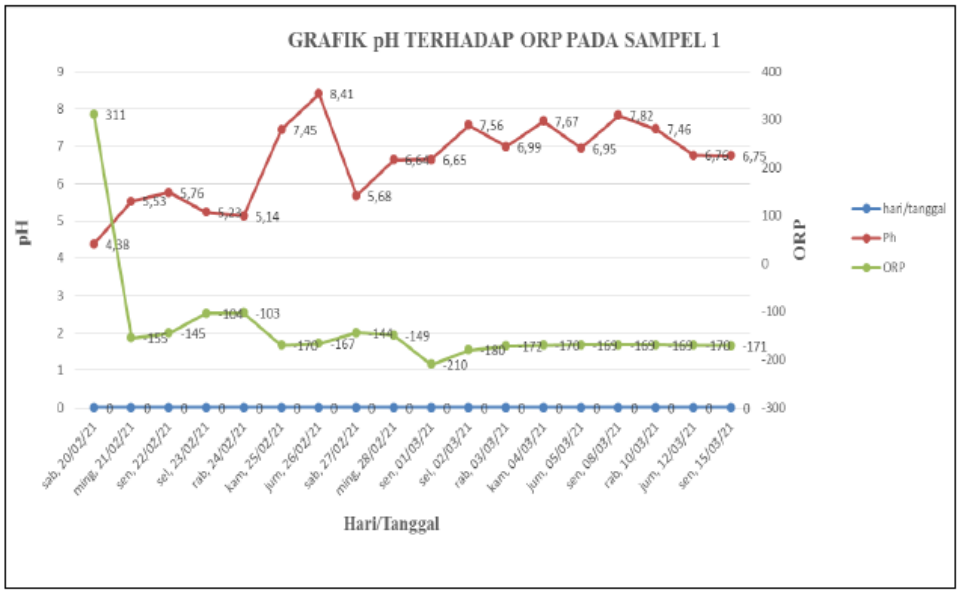
Grafik pH-ORP, EC/CD-TDS Sampel

Grafik berikut menggambarkan hubungan antara nilai pH dan ORP, serta EC/CD dengan TDS. Nilai pH air mencerminkan konsentrasi ion hidrogen dan hidroksida dalam larutan. Air bersifat basa jika pH-nya lebih dari 7, dan bersifat asam jika pH kurang dari 7. Potensial reduksi oksidasi (ORP) adalah ukuran kemampuan sistem air dalam melepaskan atau menerima elektron melalui reaksi kimia. ORP sangat dipengaruhi oleh nilai pH. Sebagai contoh, klorin dalam air dalam bentuk asam hipoklorit (HOCl) akan memiliki kemampuan oksidasi yang berbeda tergantung pada pH-nya. Ketika pH rendah, HOCl akan lebih banyak tersedia, meningkatkan nilai ORP (positif). Sebaliknya, pH yang tinggi akan menghasilkan ORP yang lebih rendah (negatif).

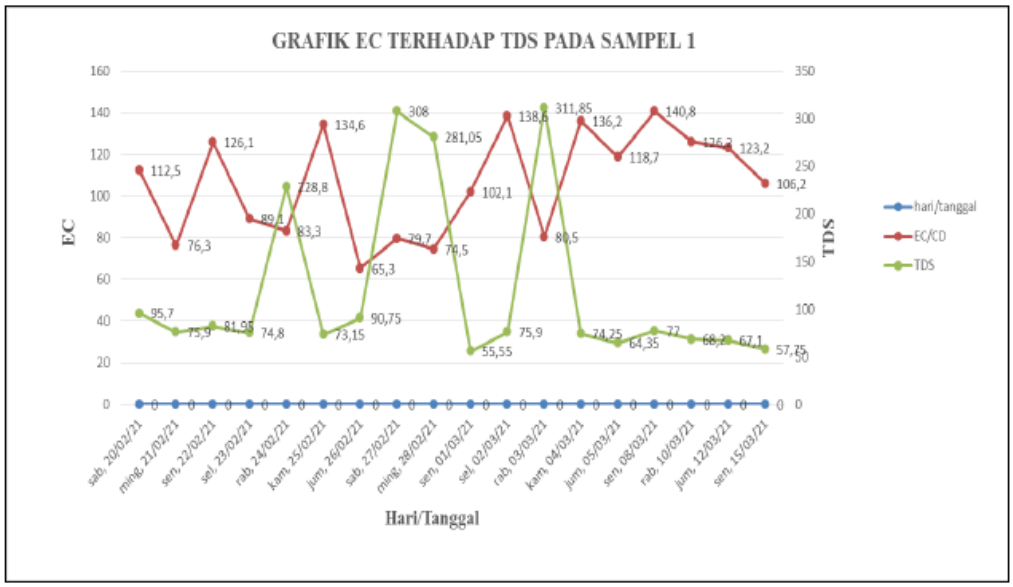
Sementara itu, hubungan antara EC/CD (konduktivitas listrik) dan TDS (jumlah total zat padat terlarut) menunjukkan bahwa semakin banyak zat terlarut dalam larutan, semakin besar pula jumlah ion yang dapat menghantarkan listrik. Oleh karena itu, konduktivitas listrik cenderung meningkat seiring dengan kenaikan TDS..

1. Grafik Sampel 1

Grafik dengan garis merah menunjukkan hubungan terbalik antara pH dan ORP. Sampel 1 memiliki pH rata-rata 6,601 dan ORP sebesar -133,66 (grafik 1 dan 2). Ini menunjukkan bahwa semakin netral nilai pH, semakin rendah nilai ORP-nya. Grafik nilai EC/CD terhadap TDS menunjukkan hubungan searah. Dengan EC/CD rata-rata 106,32 dan TDS sebesar 120,11, terlihat bahwa peningkatan jumlah zat terlarut berkorelasi langsung dengan naiknya konduktivitas listrik



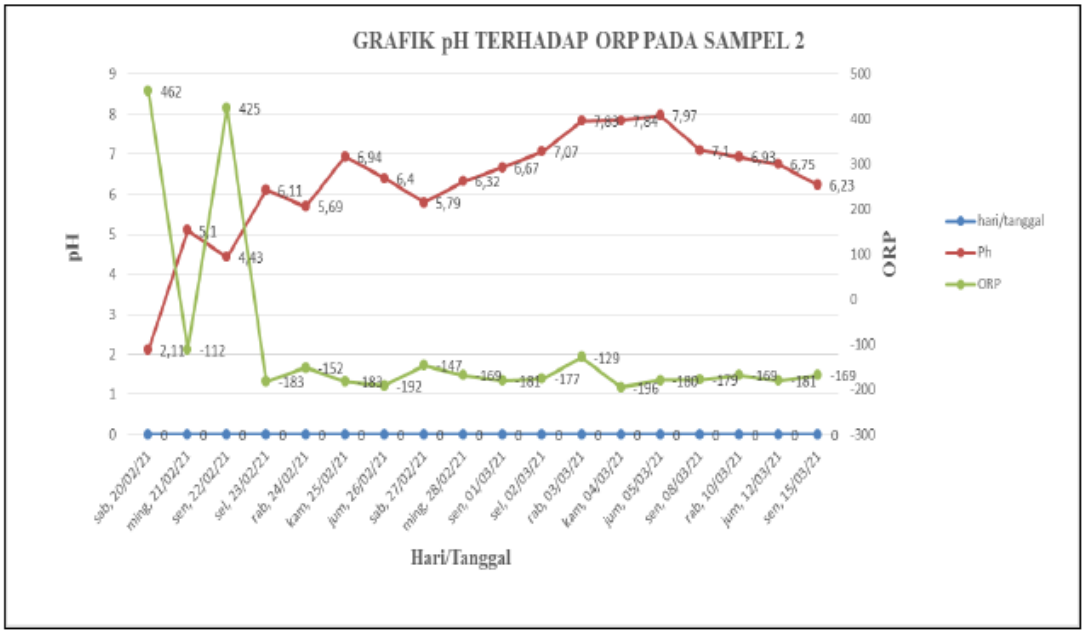
Grafik 1 Nilai pH terhadap nilai ORP pada sampel 1



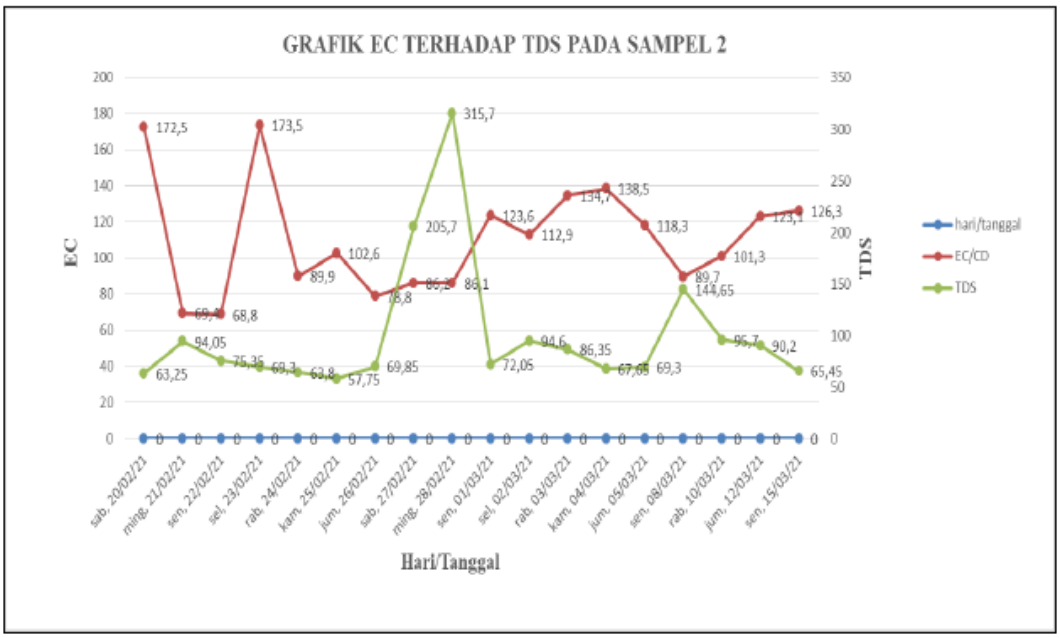
Grafik 2 Nilai EC terhadap TDS pada sampel 1

2. Grafik Sampel 2

Grafik menunjukkan hubungan negatif antara pH dan ORP. Sampel 2 memiliki pH rata-rata 6,29 dan ORP sebesar -100,66, yang berarti peningkatan pH menurunkan nilai ORP. Untuk hubungan EC/CD dan TDS, grafik menunjukkan keselarasan. Nilai rata-rata EC/CD adalah 110,9 dan TDS sebesar 100,03. Ini menunjukkan bahwa meningkatnya jumlah zat terlarut akan menaikkan nilai konduktivitas listrik (grafik 3 dan 4).



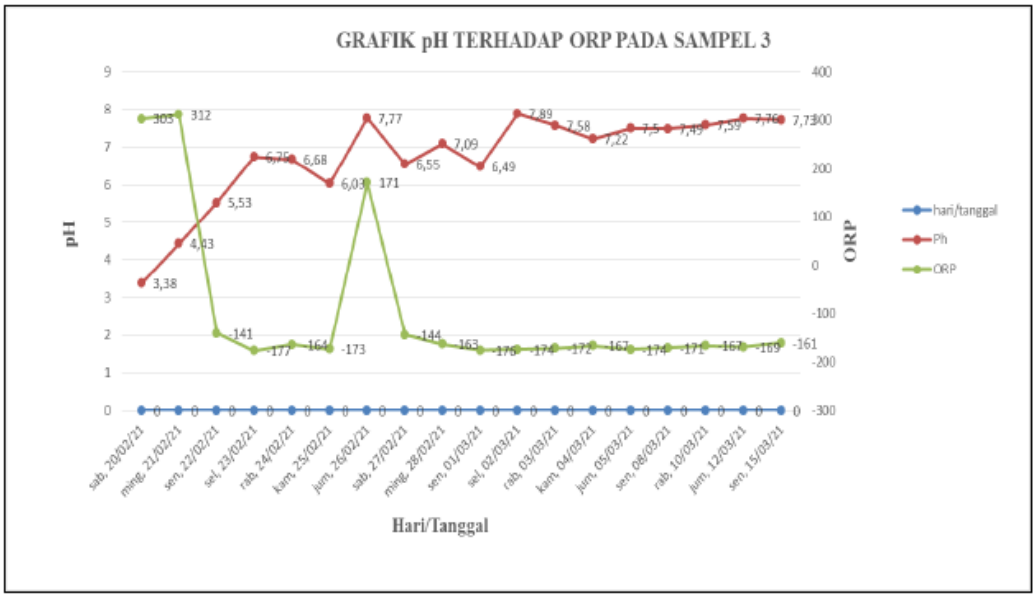
Grafik 3 Nilai pH terhadap nilai ORP pada sampel 2



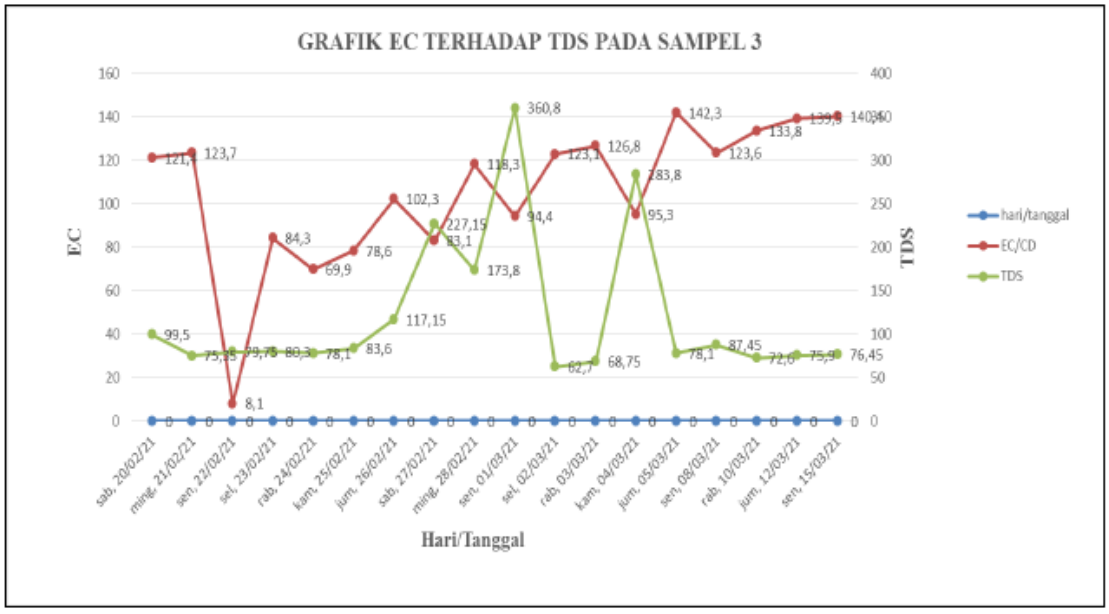
Grafik 4 Nilai EC terhadap TDS pada sampel 2

3. Grafik Sampel 3

Grafik memperlihatkan pola terbalik antara pH dan ORP. Pada sampel 3, pH rata-rata 6,74 menghasilkan ORP sebesar -94,83, menegaskan tren bahwa nilai pH yang meningkat menurunkan nilai ORP. EC/CD dan TDS menunjukkan hubungan linear. Dengan EC/CD sebesar 106,05 dan TDS sebesar 121,18, semakin tinggi kadar zat terlarut maka semakin tinggi pula konduktivitas listrik larutan (grafik 5 dan 6).



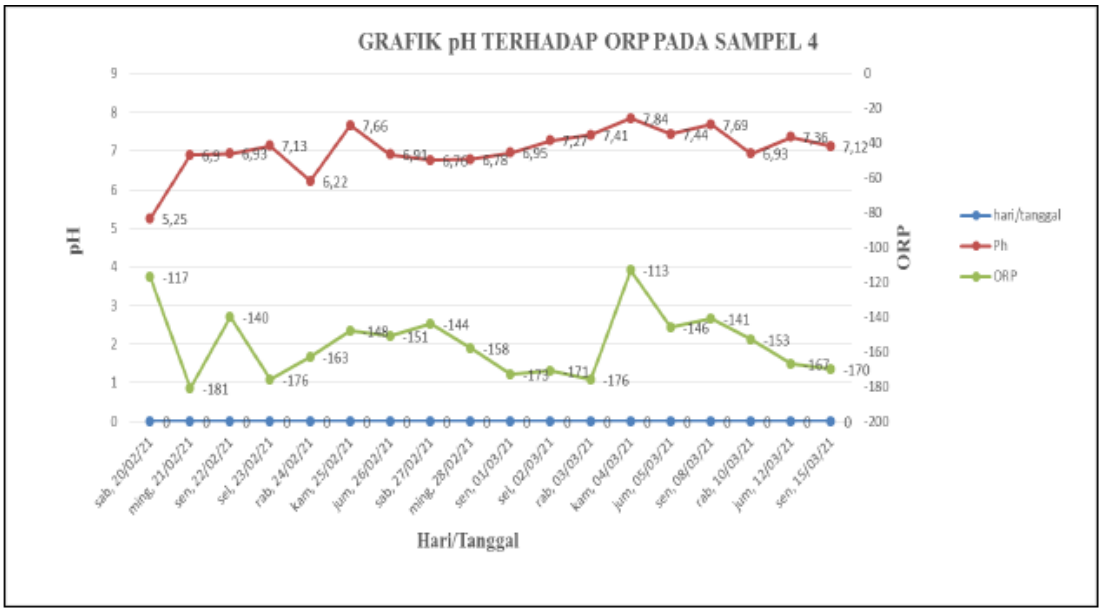
Grafik 5 Nilai pH terhadap nilai ORP pada sampel 3



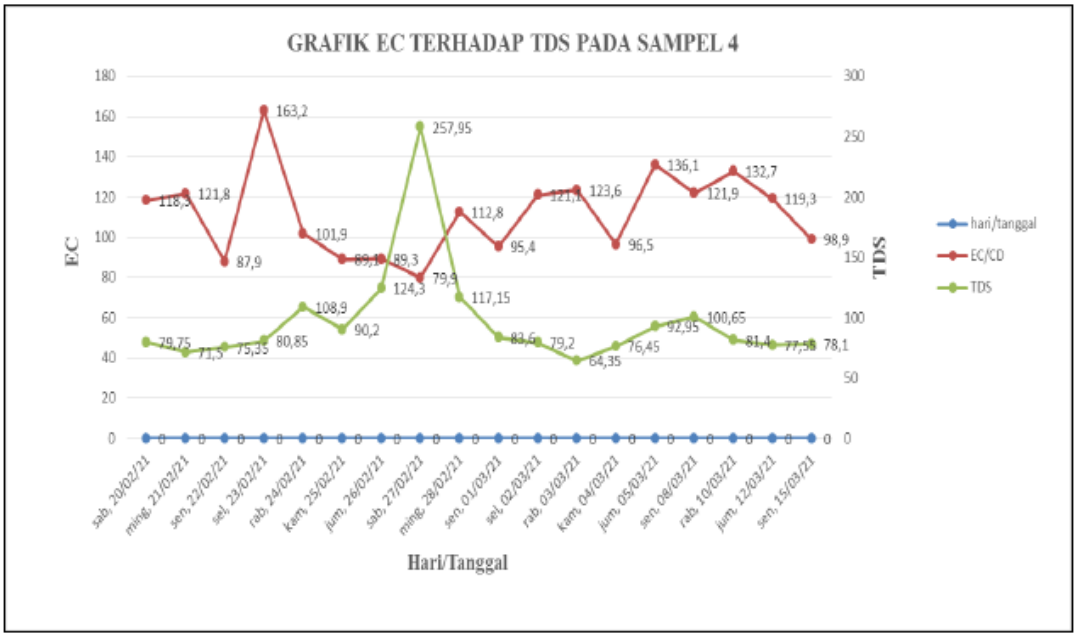
Grafik 6 Nilai EC terhadap TDS pada sampel 3

4. Grafik Sampel 4

Grafik menampilkan hubungan negatif antara pH dan ORP. Sampel 4 mencatatkan pH rata-rata 7,03 dan ORP sebesar -154,88, yang menguatkan bahwa pH netral menghasilkan ORP yang rendah. EC/CD dan TDS kembali menunjukkan hubungan langsung. Nilai EC/CD rata-rata sebesar 111,65 dan TDS sebesar 96,67 memperlihatkan bahwa lonjakan kandungan zat terlarut menaikkan konduktivitas larutan (grafik 7 dan 8).



Grafik 7 Nilai pH terhadap nilai ORP pada sampel 4



Grafik 8 Nilai EC terhadap TDS pada sampel 4

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Nilai pH dari tanah penutup pada lahan bekas tambang tembaga berkisar mendekati netral, yaitu sekitar angka 7. Sementara itu, kandungan logam berat utama dalam tanah tersebut didominasi oleh Al_2O_3 (Aluminium Oksida), SiO_2 (Silikon Dioksida), dan Fe_2O_3 (Ferri Oksida) dalam konsentrasi yang cukup tinggii.
2. Tidak ditemukan keberadaan senyawa sulfida dalam tanah penutup, dan hasil dari uji kinetik menunjukkan bahwa kondisi tanah berada dalam kategori normal. Hal ini menunjukkan bahwa tanah tersebut tidak memiliki potensi menghasilkan air asam tambang. Semua parameter uji berada dalam batas aman sesuai Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 mengenai Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Saran

Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, disarankan agar studi lanjutan dilakukan dengan pengujian mineralogi serta uji statik guna memperkuat hasil evaluasi terhadap potensi terbentuknya air asam tambang di area tersebut. Selain itu, sebaiknya dilakukan pula perpanjangan durasi uji kinetik dan pengkajian awal terhadap keberadaan tembaga primer.

DAFTAR PUSTAKA

Djuhariningrum, T. (2009). The comparison validation level of multi element and addition methods of Cu in Standard Reference Material (SRM) by AAS. Eksplorium, 30.

Ferdian, I. (2020, December). Analisis keberhasilan penanganan air asam tambang berdasarkan parameter pH, TSS, Fe dan Mn pada KPL AL 01 PT Bukit Asam, Tbk. Seminar Nasional Lahan Suboptimal, (1), 1080–1090.

Gunawan, F., Gautama, R. S., et al. (2015). Penelitian dan pengembangan sistem pengelolaan air asam tambang di Lati Mine Operation. Seminar Air Asam Tambang ke-5, Bandung.

Hamdani, & Senjaya. (2011). Geokimia batuan penutup (overburden) batubara untuk memprediksi potensi air asam tambang di Pit 1 IUP PWR, Kabupaten Berau. Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran.

Kasmiani, K., Widodo, S. W. S., & Bakri, H. B. H. (2018). Analisis potensi air asam tambang pada batuan pengapit batubara di Salopuru. Jurnal Geomine, 6(3), 138–143.

Raivel, R., & Firman, F. (2020). Karakteristik endapan nikel laterit di bawah molasa Sulawesi daerah Tinanggea. Jurnal Geomining, 1(1), 25–37.

Said, M. S., Nurhawaisyah, S. R., Juradi, M. I., Asmiani, N., & Kusuma, G. J. (2020). Analisis kandungan fly ash sebagai alternatif bahan penetral dalam penanggulangan air asam tambang. Jurnal Geomine, 7(3), 170.

Sukamto. (1982). Geologi Regional Lembar Sulawesi Selatan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Umum, K. (2005). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta.

Wibowo, R. D., & Hidayat, M. (2019). Karakteristik mineral sulfida sebagai pembentuk air asam