

KUALITAS AIR LINDIAN (LEACHATE) HASIL UJI KINETIK CEBAKAN EMAS EPITHERMAL HIGH SULFIDATION

Delita Ega Andini¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung
e-mail: ¹delitaegaandini@gmail.com

ABSTRAK

Proses pembentukan deposit emas (*ore*) umumnya terdapat pada zona alterasi *silicic* yang didominasi oleh larutan hidrotermal dan berada pada zona yang paling dalam. Untuk menghindari tersingkapnya batuan yang berpotensi menimbulkan air asam tambang perlu diketahui kualitas fisik dan kimia air lindian (*leachate*) hasil oksidasi batuan pada zona alterasi *silicic* dan *advance argilic* yang merupakan zona alterasi pembentuk deposit emas. Penelitian ini dilakukan terhadap sampel batuan *ore* yang terdiri dari 3 sampel alterasi *advance argilic* dan 3 sampel alterasi *silicic* endapan *epithermal high sulfidation* dari zona yang berbeda. Uji kinetik yang dilakukan menggunakan metode *Free Draining Column Leach Test* (FDCLT) atau uji kolom pelindian yang dirancang mengalami siklus basah-kering yang dilakukan dalam siklus harian, siklus 3 harian, siklus mingguan (*weekly wet-dry cycle*), siklus 2 mingguan, dan siklus bulanan (*monthly leaching cycle*). Berdasarkan hasil uji kinetik *free draining column leach* atau uji kolom pelindian yang dilakukan di laboratorium selama 8 bulan dengan siklus yang berbeda-beda didapatkan bahwa pada sampel alterasi *advance argilic* mempunyai pH 7,94 dan nilai parameter kualitas kimia air yang lainnya rendah dan tidak berpotensi menimbulkan air asam tambang sedangkan untuk alterasi *silicic* berpotensi menimbulkan air asam tambang karena mempunyai pH yang rendah yaitu 2,25 dan kandungan TDS dan sulfat yang tinggi.

Kata kunci: Air asam tambang, air lindian, batuan *ore*, alterasi *advance argilic*, alterasi *silicic*

PENDAHULUAN

Daerah cebakan bijih emas (Au) pada endapan *epithermal high sulfidation* merupakan target eksplorasi yang sangat penting dan mempengaruhi kualitas air. Endapan *epithermal high sulfidation* dicirikan dengan *host rock* berupa batuan vulkanik bersifat asam hingga intermediet dengan kedalaman formasi batuan sekitar 500-2000 meter dan temperatur 100°C-320°C. Endapan *Epithermal High Sulfidation* terbentuk oleh sistem dari fluida hidrotermal yang berasal dari intrusi magmatik yang cukup dalam, fluida ini bergerak secara vertikal dan horizontal menembus rekahan-rekahan pada batuan dengan suhu yang relatif tinggi (200-300°C), fluida ini didominasi oleh fluida magmatik dengan kandungan *acidic* yang tinggi yaitu berupa HCl, SO₂, H₂S (Simmons dkk, 2005).

Zona alterasi yang terbentuk pada endapan *epithermal high sulfidation* adalah zona *silicic*, *advance argilic*, *argilic*, dan *propylitic*. Proses pembentukan deposit emas (*ore*) umumnya terdapat pada zona alterasi *silicic* yang didominasi oleh larutan hidrotermal dan berada pada zona yang paling dalam. Kualitas kimia air pada zona alterasi *silicic* dan *advance argilic* perlu dikaji untuk menghindari dan mencegah adanya pencemaran air berdasarkan KEPMEN LH No.202 Tahun 2004 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan pertambangan bijih emas dan atau tembaga.

TINJAUAN PUSTAKA

Endapan Epithermal High Sulfidation

Endapan epitermal didefinisikan sebagai salah satu endapan dari sistem hidrotermal yang terbentuk pada kedalaman dangkal yang umumnya pada busur vulkanik yang dekat dengan permukaan (Simmons dkk, 2005). Penggolongan tersebut berdasarkan temperatur (T), tekanan (P) dan kondisi geologi yang dicirikan oleh kandungan mineralnya. Secara lebih detailnya endapan epitermal terbentuk pada kedalaman dangkal hingga 1000 meter dibawah permukaan dengan temperatur relatif

rendah (50-200°C) dengan tekanan tidak lebih dari 100 atm dari cairan meteorik dominan yang agak asin (Pirajno, 1992).

Pada lingkungan epitermal terdapat 2 (dua) kondisi sistem hidrotermal yang dapat dibedakan berdasarkan reaksi yang terjadi dan ketersediaan mineral-mineral alterasi dan mineral bijihnya yaitu *epithermal low sulfidation* dan *epithermal high sulfidation* (Hedenquist dkk, 1995). Sistem Informasi Geografis.

Uji Kinetik

Uji kinetik adalah simulasi proses oksidasi (pelapukan pada skala laboratorium). Uji kinetik bertujuan untuk mensimulasikan proses oksidasi (pelapukan) yang terjadi di lapangan dengan menerapkan dua siklus yakni siklus kering dan siklus basah yang menggambarkan siklus cuaca di Indonesia. Ada 2 metode uji kinetik yang dikenal secara umum yaitu *Humidity Cell Test* (HCT) dan *Free Draining Column Leach Test* (FDCLT). Uji kinetik yang dilakukan pada studi ini adalah *Free Draining Column Leach Test*.

Uji *Free Draining Column Leach Test* ini memberikan informasi mengenai reaktivitas sulfida, laju reaksi oksidasi, kelarutan logam, dan sifat pelapukan batuan pada kondisi oksidasi dimana sampel dilindian secara periodik dan air dari hasil lindian tersebut dapat dianalisis. Selain itu, uji (FDCLT) bertujuan prediksi potensi pembentukan air asam tambang (AAT) jangka panjang yang disesuaikan dengan kondisi nyata di lapangan.

METODOLOGI

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah sampel batuan *ore* pada cebakan emas endapan *epithermal high sulfidation* zona alterasi *Silicic* dan alterasi *Advance Argilic*. Sampel tersebut akan disimulasikan dengan uji kinetik FDCLT di laboratorium kemudian diukur kualitas air lindian (*leachate*) dari sampel tersebut.

Tabel-1. Deskripsi Sampel Batuan

No	Kode Sampel	Alterasi	Depth from (m)	Depth to (m)	Thick (cm)	Tipe Batuan	Zonasi
1	AA1	<i>Advance-Argilic</i>	11.7	15.2	285	<i>Ore - Transition</i>	<i>Oxide/ Atas</i>
2	AA2	<i>Advance-Argilic</i>	10.4	12	165	<i>Ore - Oxide</i>	<i>Transition/ Tengah</i>
3	AA3	<i>Advance-Argilic</i>	22.5	27	170	<i>Ore - Oxide</i>	<i>Oxide/ Atas</i>
4	SI1	<i>Silicic</i>	40.55	43.4	350	<i>Ore - Sulphide</i>	<i>Sulphide/ Bawah</i>
5	SI2	<i>Silicic</i>	33.35	35	160	<i>Ore - Transition</i>	<i>Transition/ Tengah</i>
6	SI3	<i>Silicic</i>	36.3	38	445	<i>Ore - Transition</i>	<i>Oxide/ Atas</i>

Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan melalui tahapan persiapan, pengujian sampel di laboratorium untuk mengumpulkan data primer, tahap analisis dan pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

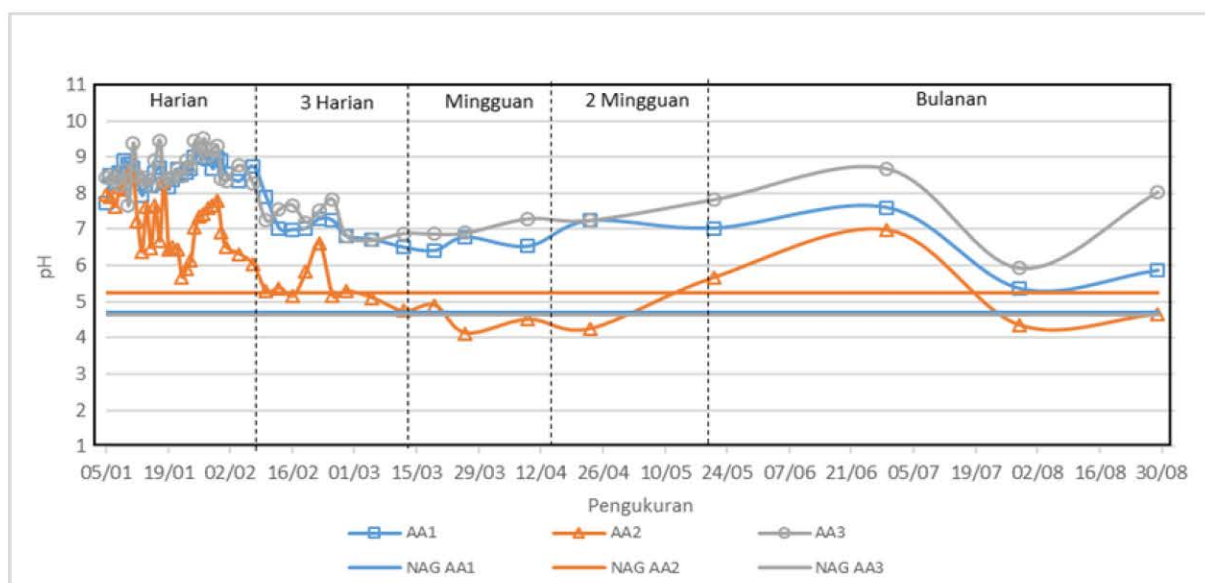
Free Draining Column Leach Test (FDCLT) atau uji kolom pelindian dirancang mengalami siklus basah-kering yang dilakukan dalam siklus harian, siklus 3 harian, siklus mingguan (*weekly wet-dry cycle*), siklus 2 mingguan, dan siklus bulanan (*monthly leaching cycle*). Air hasil penyiraman (*leachate*) dikumpulkan dan diukur parameter fisiknya, pengukuran parameter fisik dilakukan menggunakan alat multimeter Lutron WA-2017SD. Parameter fisik yang diukur yaitu pH, *Oxidation-Reduction Potential* (ORP) dalam mV, *Electric Conductivity* (EC) dalam $\mu\text{S/cm/cm}$, *Total Dissolved Solid* (TDS) dalam mg/L, temperatur pengukuran dalam $^{\circ}\text{C}$ dan volume *leachate* dalam mL. Nilai dari pH merupakan

suatu parameter yang penting untuk penentuan kadar asam/basa dalam air. Penentuan pH merupakan tes yang paling penting dan paling sering digunakan pada kimia air.

Parameter pH Hasil Uji Kinetik

Alterasi *Advance Argilic*

Pada siklus harian sampel batuan alterasi *advance argilic* mempunyai nilai pH yang cenderung tidak stabil (Gambar 1) dengan rentang nilai pH 4 – 9 kemudian pada siklus tiga harian nilai pH turun. Pada sampel AA1 nilai pH rata-rata yaitu 7,94 dengan nilai terendah 5,35 dan nilai tertinggi 9,19. Sampel AA2 nilai pH rata-rata yaitu 6,44 dengan nilai terendah 4,13 dan nilai tertinggi 8,49. Sedangkan untuk sampel AA3 nilai terendah 5,93 dan nilai tertinggi 9,51 dengan rata-rata nilai pH adalah 8,18. Dari keseluruhan sampel alterasi *advance argilic* pH cenderung tidak stabil dan mencapai pH terendah pada siklus bulanan (minggu ke-30).

Gambar-1. Grafik Nilai pH Uji Kinetik Sampel Alterasi *Advance Argilic*

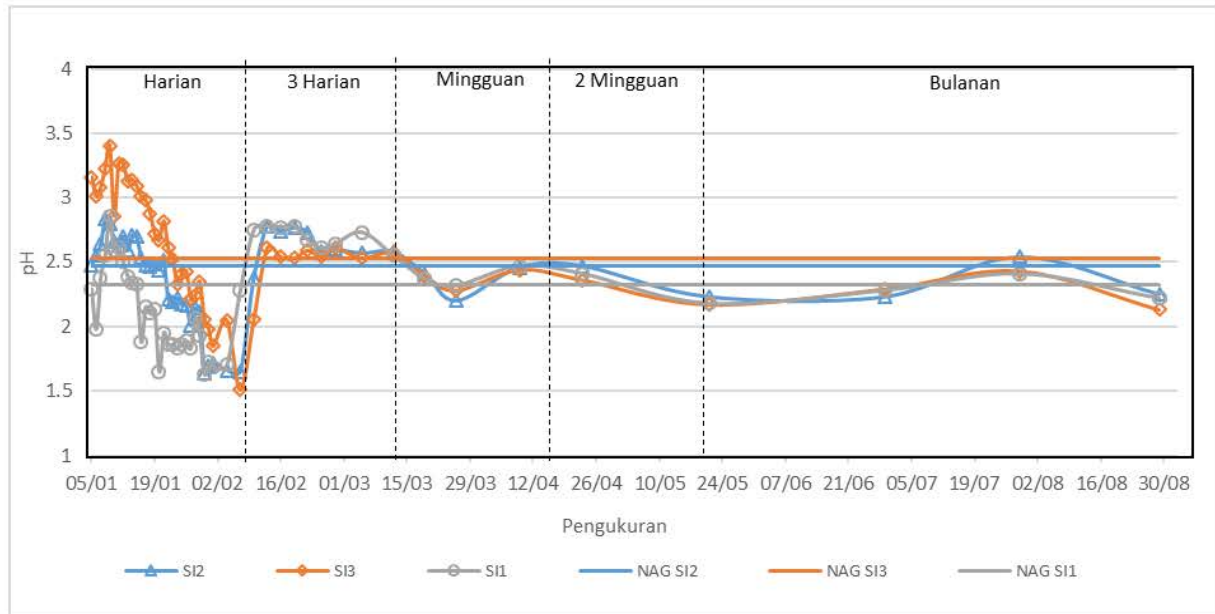
Alterasi *Silicic*

Berdasarkan grafik nilai pH uji kinetik pada alterasi *silicic* (Gambar-2) nilai pH rata-rata pada sampel SI1 adalah 2,25 dengan nilai terendah 1,63 dan nilai tertinggi 2,86. Pada sampel SI2 nilai pH rata-rata yaitu 2,39 dengan nilai terendah 1,64 dan nilai tertinggi 2,84. Sedangkan untuk sampel SI3 nilai terendah 1,51 dan nilai tertinggi 3,4 dengan rata-rata nilai pH adalah 2,58. Dari keseluruhan sampel alterasi *silicic* pH cenderung rendah atau bernilai kecil yang berarti bersifat asam.

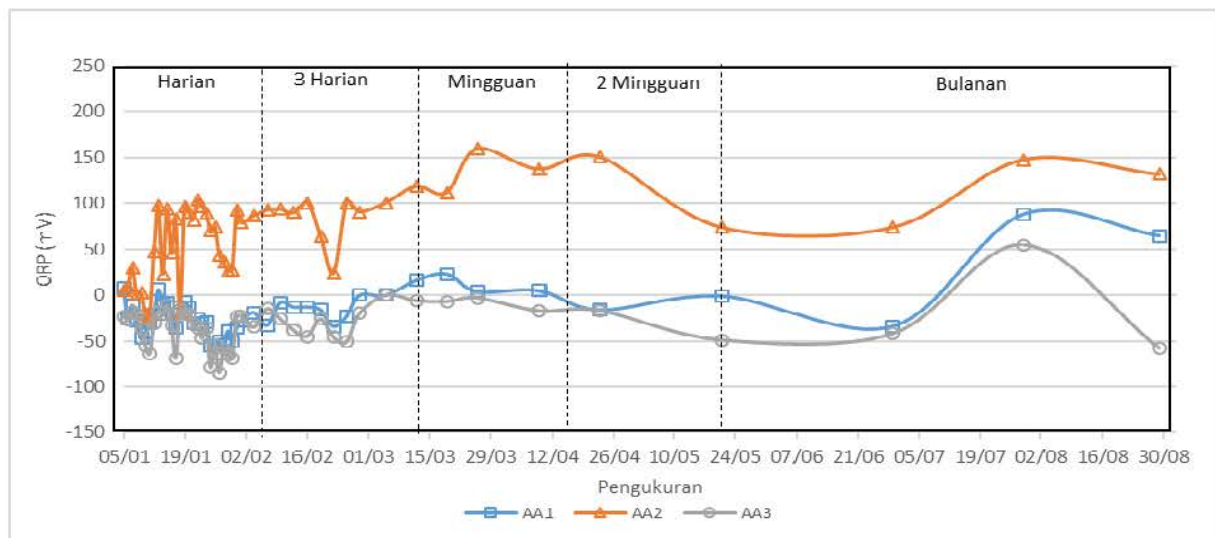
Parameter ORP Hasil Uji Kinetik

Alterasi *Advance Argilic*

Pada awal pengujian yaitu siklus harian sampel batuan alterasi *advance argilic* mempunyai nilai ORP yang cenderung tidak stabil (Gambar-3). Dengan nilai terendah pada sampel AA1 adalah -64 mV dan nilai tertinggi adalah 88 mV, untuk sampel AA2 nilai terendah -23 mV dan nilai tertinggi adalah 160 mV. Sedangkan untuk sampel AA3 nilai terendah -85 mV dan nilai tertinggi adalah 55 mV.



Gambar-2. Grafik Nilai pH Uji Kinetik Sampel Alterasi *Silisic*



Gambar-3. Grafik Nilai ORP Uji Kinetik Sampel Alterasi *Advance Argilic*

Alterasi *Silisic*

Berdasarkan grafik nilai ORP uji kinetik alterasi *silisic* pada Gambar-4 dapat dilihat bahwa nilai ORP mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan pada tiap siklus. Nilai ORP pada masing-masing sampel yaitu nilai terendah pada sampel SI1 adalah 188 mV dan nilai tertinggi adalah 265 mV, untuk sampel SI2 nilai terendah 189 mV dan nilai tertinggi adalah 273 mV. Sedangkan untuk sampel SI3 nilai terendah 156 mV dan nilai tertinggi adalah 267 mV.

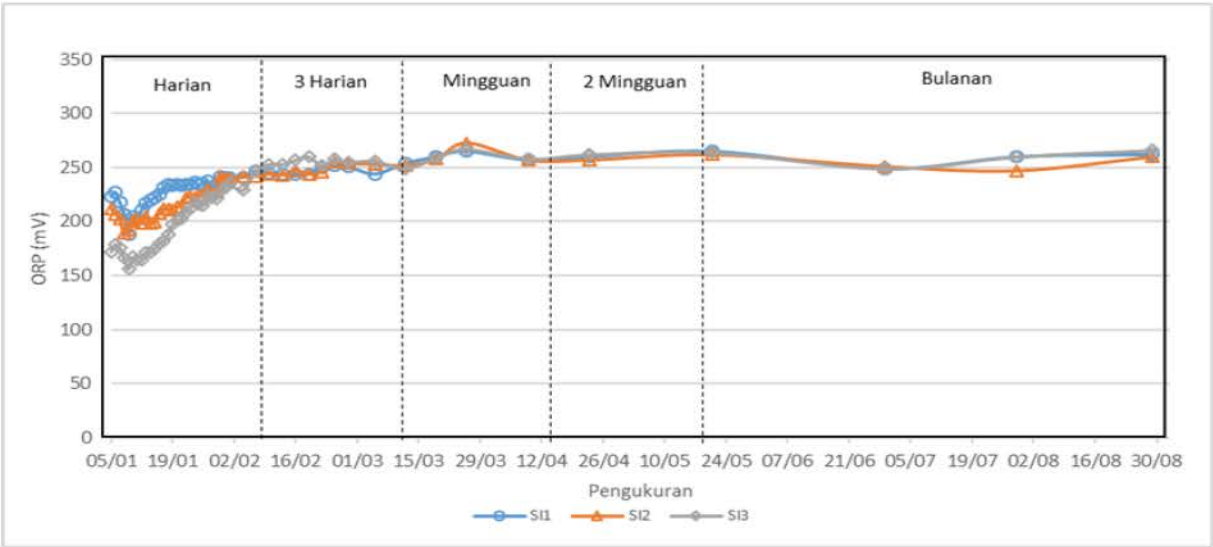
Parameter Daya Hantar Listrik pada Uji Kinetik Alterasi *Advance Argilic*

Pada awal pengujian yaitu siklus harian dan siklus 3 harian sampel batuan alterasi *advance argilic* mempunyai nilai EC yang cenderung naik turun (Gambar-5) yaitu dengan nilai rata-rata nilai EC pada masing-masing sampel pada siklus harian adalah 87,7 $\mu\text{S/cm}$ untuk

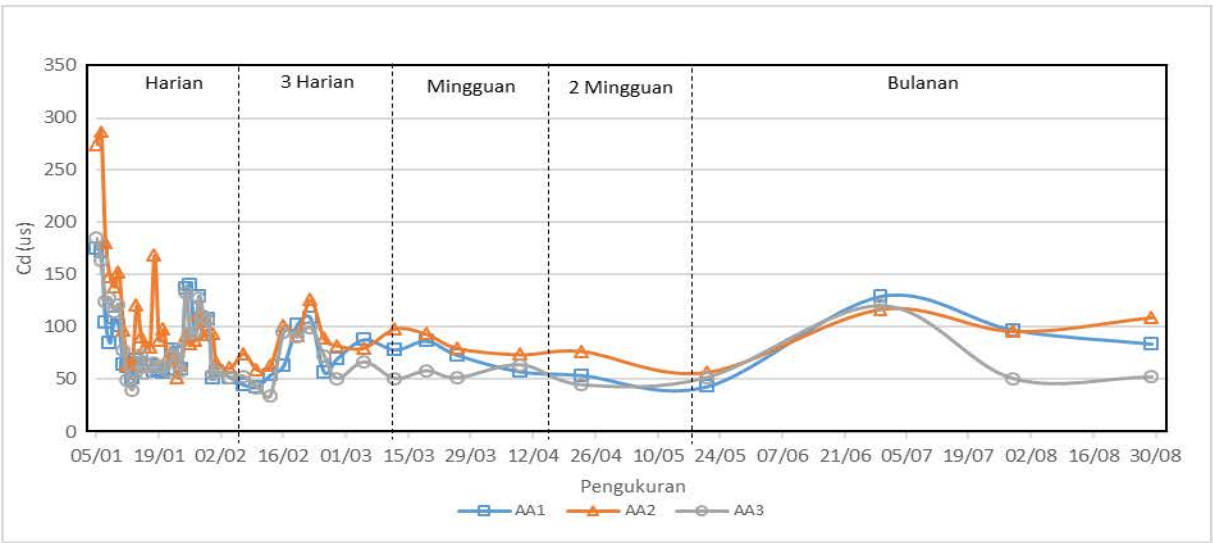
sampel AA1, 196,6 $\mu\text{S/cm}$ untuk sampel AA2 dan 88,8 $\mu\text{S/cm}$ untuk sampel AA3. Kemudian nilai EC mulai stabil pada siklus mingguan hingga akhir pengukuran dengan rata-rata nilai EC masing-masing sampel adalah 81,82 $\mu\text{S/cm}$ untuk sampel AA1, 100,93 $\mu\text{S/cm}$ untuk sampel AA2, dan 78,41 $\mu\text{S/cm}$ untuk sampel AA3.

Alterasi *Silisic*

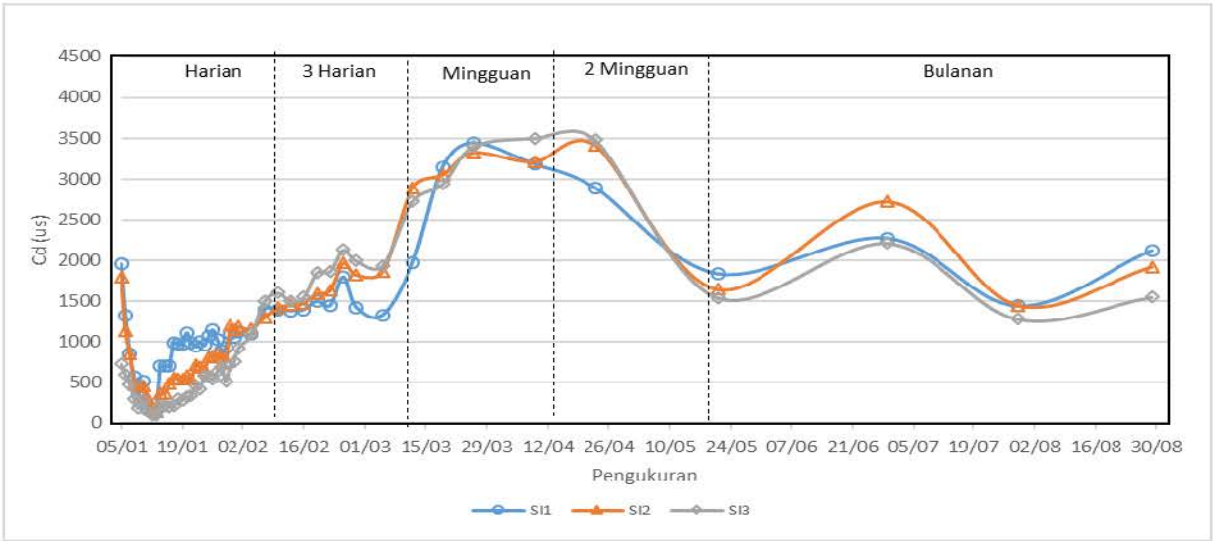
Sampel batuan alterasi *silisic* mempunyai nilai EC yang terus meningkat (Gambar-6) dengan nilai maksimum untuk sampel SI1 adalah 3440 $\mu\text{S/cm}$, sampel SI2 adalah 3410 $\mu\text{S/cm}$, dan sampel SI3 adalah 3500 $\mu\text{S/cm}$ namun pada siklus bulanan nilai EC cenderung turun dengan nilai terendah pada masing-masing sampel adalah 1440 $\mu\text{S/cm}$, 1450 $\mu\text{S/cm}$ dan 1280 $\mu\text{S/cm}$ untuk sampel SI1, SI2, dan SI3.



Gambar-4. Grafik Nilai ORP Uji Kinetik Sampel Alterasi *Silicic*



Gambar-5. Grafik Nilai Daya Hantar Listrik Uji Kinetik Sampel Alterasi *Advance Argilic*

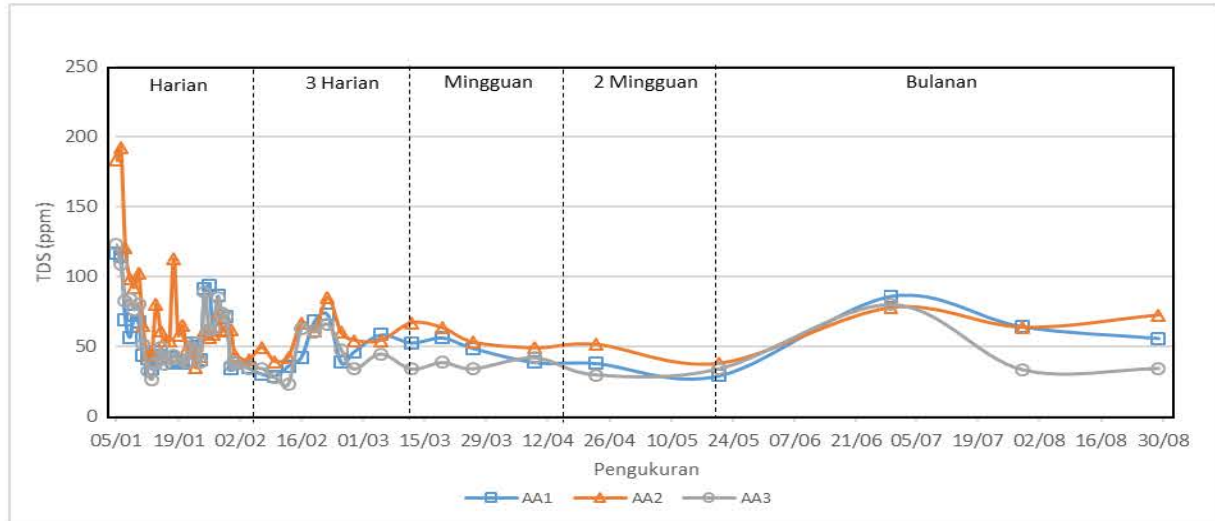


Gambar-6. Grafik Nilai Daya Hantar Listrik Uji Kinetik Sampel Alterasi *Silicic*

Parameter TDS pada Uji Kinetik Alterasi *Advance Argilic*

Berdasarkan grafik nilai TDS uji kinetik alterasi *advance argilic* (Gambar-7) dilihat bahwa pada awal pengujian yaitu siklus harian dan siklus 3 harian sampel alterasi *advance argilic* mempunyai nilai TDS yang cenderung naik turun yaitu dengan nilai rata-rata nilai

TDS pada masing-masing sampel pada siklus harian adalah 58,4 ppm untuk sampel AA1, 131,4 ppm untuk sampel AA2 dan 59,1 ppm untuk sampel AA3. Kemudian nilai TDS mulai stabil pada siklus mingguan hingga akhir pengukuran dengan rata-rata nilai TDS masing-masing sampel adalah 54,52 ppm untuk sampel AA1, 67,41 ppm untuk sampel AA2, dan 52,18 ppm untuk sampel AA3.

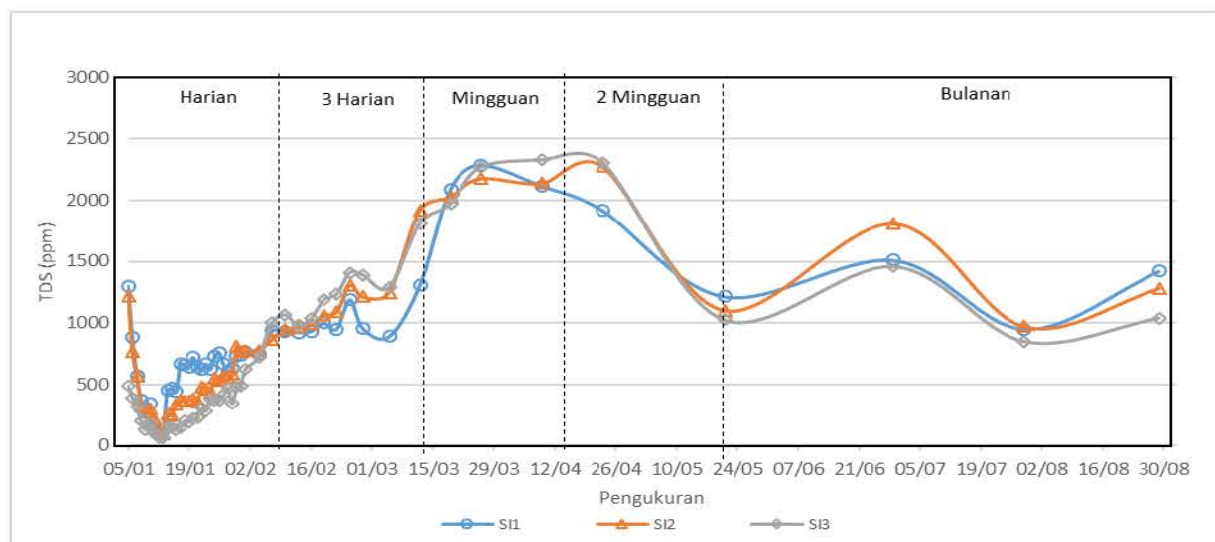


Gambar-7. Grafik Nilai TDS Uji Kinetik Sampel Alterasi *Advance Argilic*

Alterasi *Silicic*

Grafik nilai TDS (Gambar-8) menunjukkan hasil uji kinetik alterasi *silicic* dan terlihat dari awal pengujian yaitu siklus harian sampel batuan *ore* alterasi *silicic* mempunyai nilai TDS awal yang cenderung menurun namun pada pengukuran minggu ke-2 siklus harian nilai TDS berada pada nilai terendah yaitu 104,7 ppm untuk sampel SI1, 91,6 ppm untuk sampel SI2, dan 65,3 ppm

untuk sampel SI3 namun setelah itu nilai TDS meningkat dengan nilai maksimum sampel SI1 adalah 2290 ppm, sampel SI2 adalah 2280 ppm, dan sampel SI3 adalah 2330 ppm namun pada siklus bulanan nilai TDS cenderung turun dengan nilai terendah pada masing-masing sampel adalah 950 ppm, 970 ppm dan 850 ppm untuk sampel SI1, SI2, dan SI3.



Gambar-8. Grafik Nilai TDS Uji Kinetik Sampel Alterasi *Silicic*

Kualitas Kimiawi Air Lindian Hasil Uji Kinetik

Parameter kimia yang diuji disesuaikan baku mutu air limbah kegiatan penambangan bijih emas dan atau tembaga yang sesuai dengan KEPMEN LH Nomor 202 Tahun 2004. Uji kualitas kimia air tersebut diantaranya adalah pengujian konsentrasi logam arsen (As), kromium (Cr), nikel (Ni), kadmium (Cd), tembaga

(Cu), timbal (Pb), seng (Zn) serta ditambah dengan pengujian Fe^{2+} , Fe^{3+} , serta sulfat.

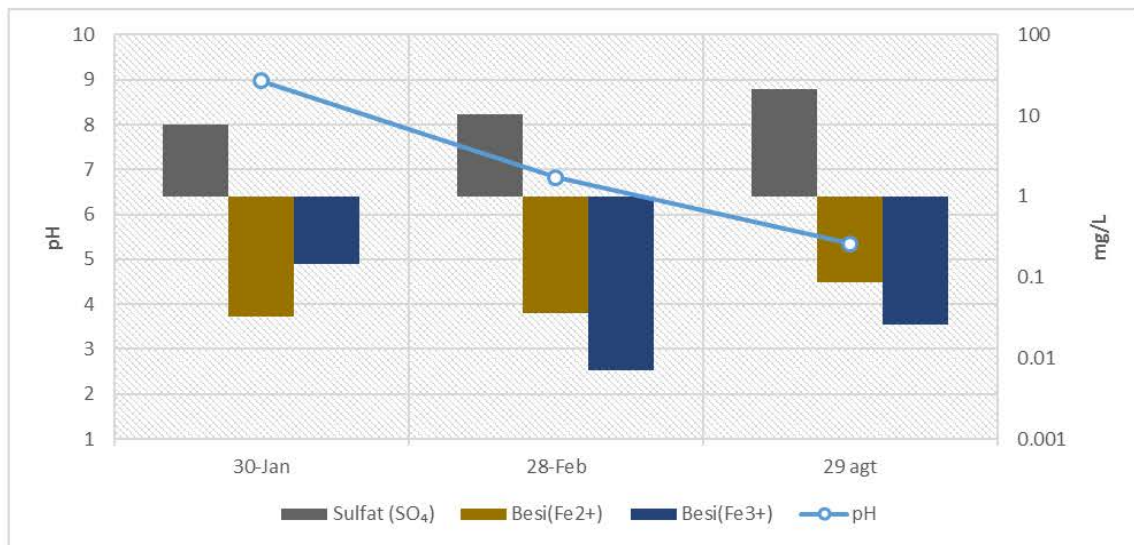
Pengujian kualitas air lindian diambil dari hasil air lindian uji kinetik FDCL pada masing-masing sampel yang mewakili setiap siklus pengujian. Selain melakukan analisis fisika pada sampel air lindian uji kinetik juga dilakukan analisis kualitas kimiawi air lindian. Pengujian

kualitas kimiawi air lindian dilakukan pada siklus penyiraman yang mewakili masing-masing siklus dengan tiga kali pengukuran kualitas air yang diambil dari akhir siklus harian, akhir siklus tiga harian dan air lindian pada pengukuran terakhir atau pada akhir penelitian.

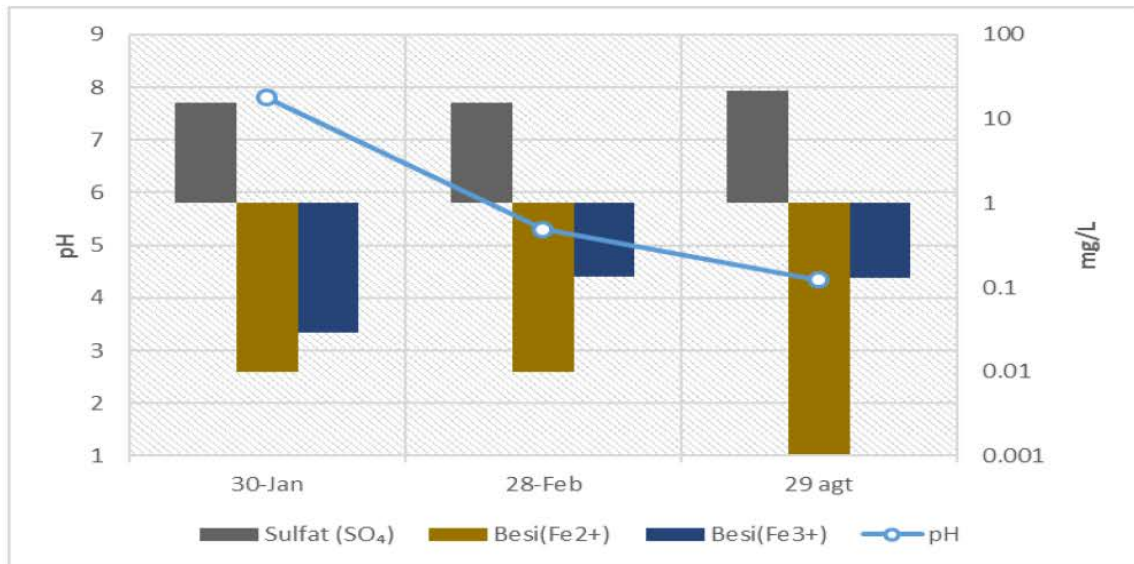
Fe total dan Sulfat Terkait Perubahan pH Alterasi *Advance Argilic*

Konsentrasi sulfat dan Fe terhadap perubahan pH pada tiap sampel ditunjukkan pada Gambar-9, Gambar-10, dan Gambar-11 untuk alterasi *advance argilic*. Pada grafik tersebut terlihat bahwa konsentrasi sulfat pada sampel *advance argilic* meningkat seiring laju penurunan pH pada pengukuran semua siklus dan untuk konsentrasi Fe^{2+} pada sampel AA1 cenderung turun, konsentrasi pada sampel

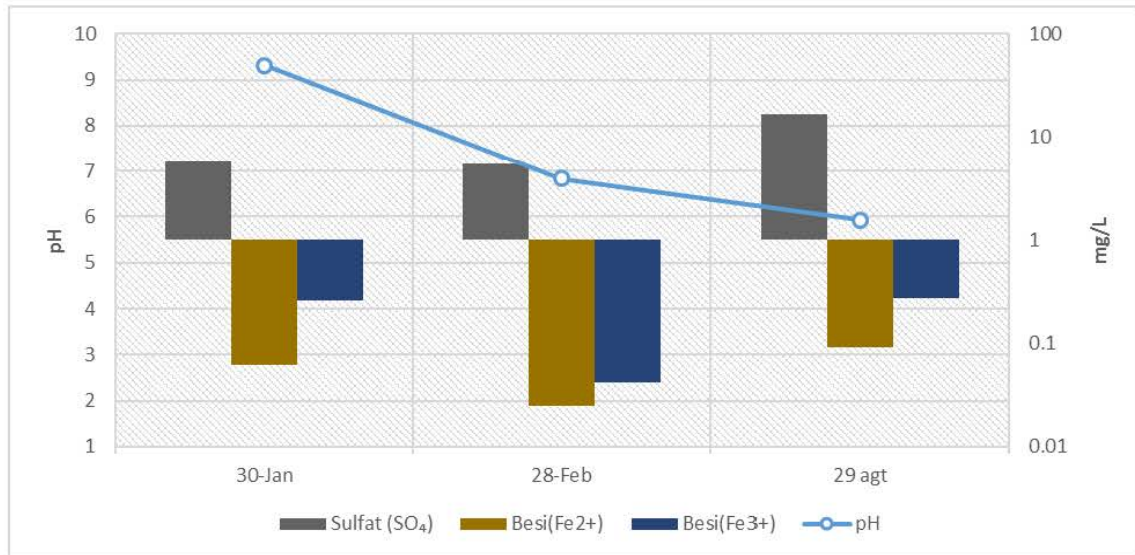
AA2 memiliki konsentrasi yang sangat kecil, sedangkan pada sampel AA3 konsentrasi Fe^{2+} memiliki konsentrasi yang lebih tinggi pada pengukuran siklus kedua yaitu 0,025 mg/L dari pengukuran siklus pertama dan ketiga. Sedangkan untuk nilai konsentrasi dari Fe^{3+} pada sampel AA1 cenderung naik turun dan memiliki konsentrasi Fe^{3+} yang lebih besar pada pengukuran siklus pertama yaitu sebesar 0,144 mg/L, konsentrasi pada sampel AA2 memiliki konsentrasi yang cenderung meningkat pada pengukuran ketiga siklus tersebut, sedangkan pada sampel AA3 konsentrasi Fe^{3+} memiliki konsentrasi yang lebih kecil pada pengukuran siklus kedua yaitu 0,042 mg/L dari pengukuran siklus pertama dengan konsentrasi 0,256 mg/L dan pengukuran siklus ketiga sebesar 0,273 mg/L.



Gambar-9. Grafik Konsentrasi SO_4 , Fe^{2+} , dan Fe^{3+} Terhadap Perubahan pH Sampel AA1



Gambar-10. Grafik Konsentrasi SO_4 , Fe^{2+} , dan Fe^{3+} Terhadap Perubahan pH Sampel AA2

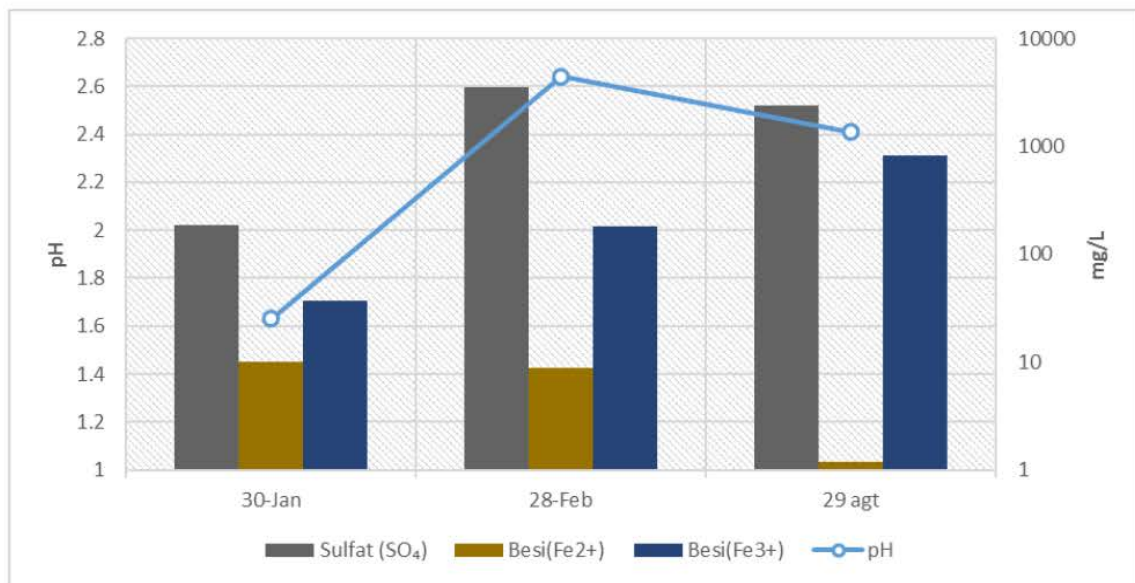


Gambar-11. Grafik Konsentrasi SO₄, Fe²⁺, dan Fe³⁺ Terhadap Perubahan pH Sampel AA3

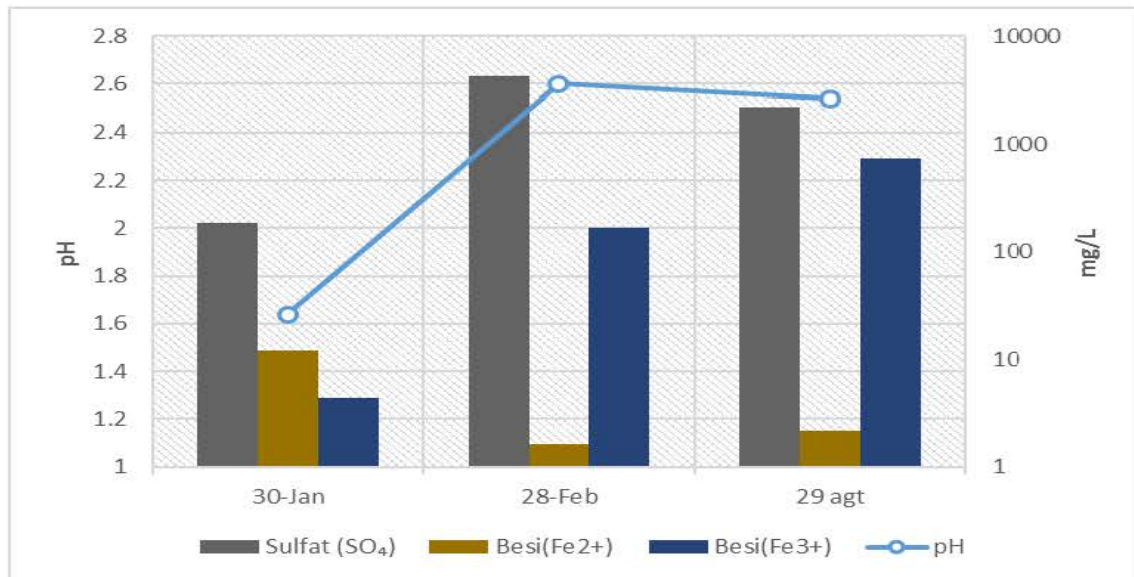
Alterasi *Silisic*

Konsentrasi sulfat dan Fe terhadap perubahan pH pada sampel alterasi *silisic* ditunjukkan pada Gambar-12, Gambar-13, dan Gambar-14. Pada grafik tersebut terlihat bahwa konsentrasi sulfat pada keseluruhan sampel alterasi *silisic* cenderung meningkat signifikan dari pengukuran awal siklus yang rata-rata konsentrasinya 190 mg/L kemudian meningkat menjadi >3000 mg/L pada siklus kedua yang lebih besar daripada siklus ketiga dengan konsentrasi sulfat sebesar 1000-2500 mg/L. Untuk

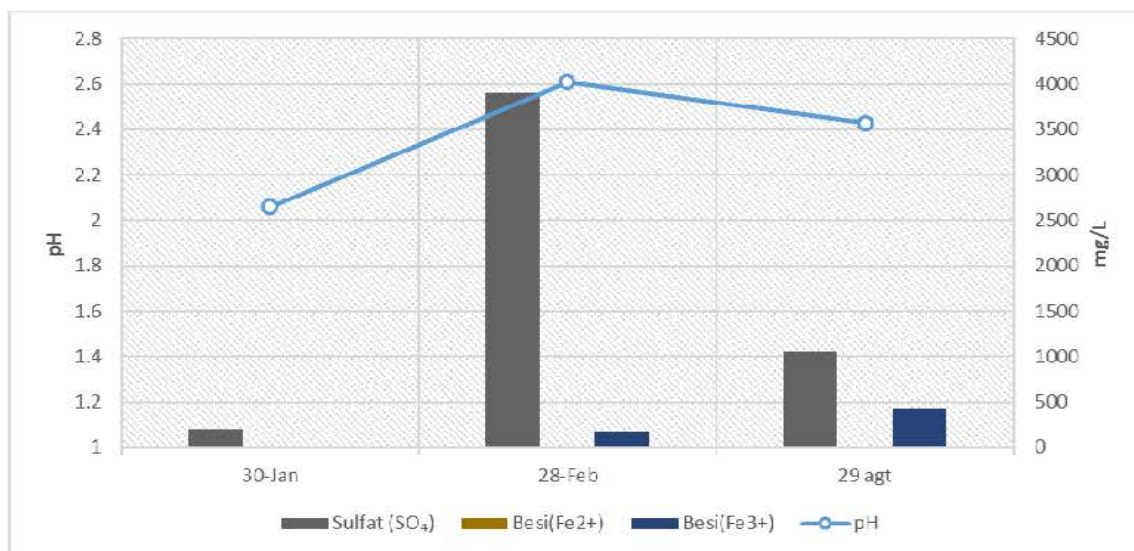
konsentrasi nilai Fe²⁺ pada sampel SI1 dan SI2 nilai dari Fe²⁺ cenderung menurun sedangkan untuk sampel SI3 nilai Fe²⁺ stabil dengan nilai rata-rata 0,7 mg/L. Sedangkan untuk nilai konsentrasi dari Fe³⁺ pada keseluruhan sampel alterasi *silisic* meningkat sangat signifikan yaitu dari siklus awal nilai Fe³⁺ <40 mg/L pada masing-masing sampel meningkat menjadi >400 mg/L pada keseluruhan sampel alterasi *silisic* yaitu dengan nilai Fe³⁺ pada sampel SI1 lebih besar yaitu 827 mg/L.



Gambar-12. Grafik Konsentrasi SO₄, Fe²⁺, dan Fe³⁺ Terhadap Perubahan pH Sampel SI1



Gambar-13. Grafik Konsentrasi SO₄, Fe²⁺, dan Fe³⁺ Terhadap Perubahan pH Sampel SI2

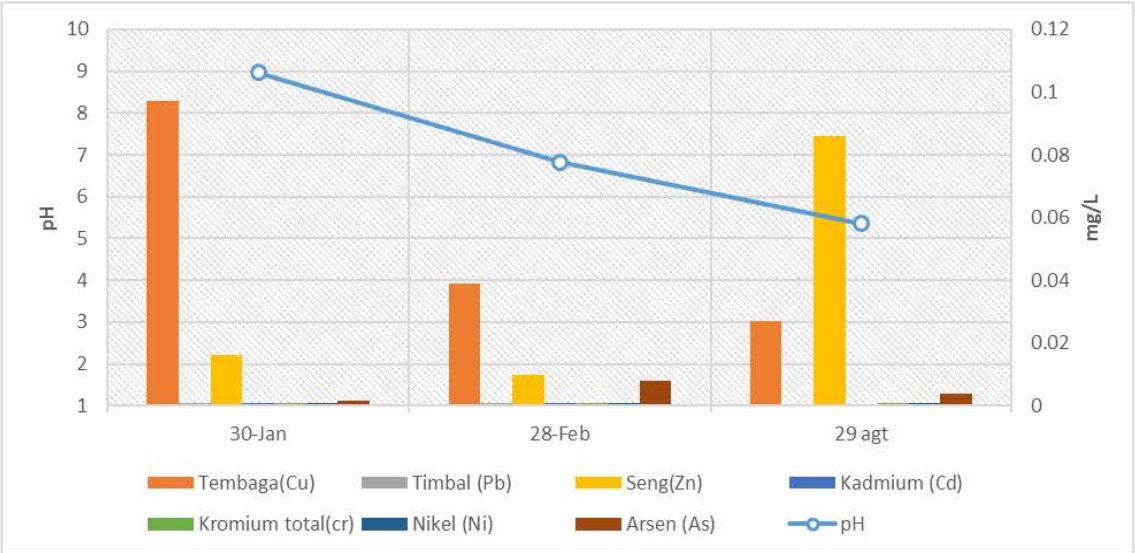


Gambar-14. Grafik Konsentrasi SO₄, Fe²⁺, dan Fe³⁺ Terhadap Perubahan pH Sampel SI3

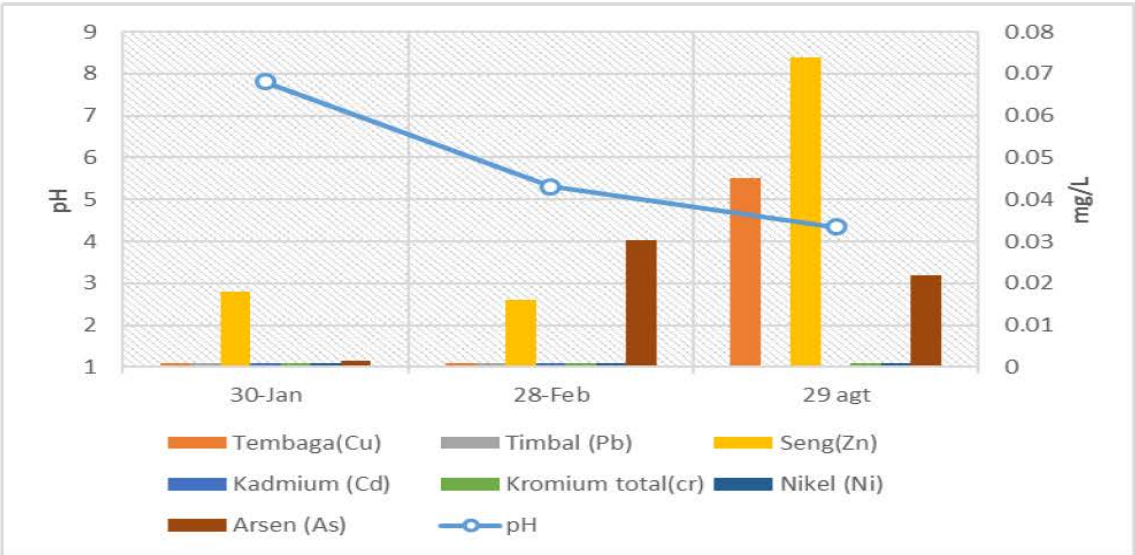
Kandungan Logam Terkait Perubahan pH Sampel *Advance Argilic*

Konsentrasi logam terhadap perubahan pH pada sampel alterasi *advance argilic* ditunjukkan pada gambar 15, gambar 16, dan gambar 17. Hasil analisis konsentrasi logam terhadap penurunan pH terlihat konsentrasi logam Pb, Cd, Cr mempunyai konsentrasi yang sangat kecil yaitu <0,001 mg/L atau hampir tidak dapat terdeteksi pada keseluruhan sampel alterasi *advance argilic*. Sedangkan untuk konsentrasi logam Cu pada sampel AA1 meningkat cukup tinggi, sampel AA2 kandungan Cu sangat kecil yaitu sebesar <0,001 mg/L pada siklus pertama dan kedua sedangkan untuk siklus ketiga nilai Cu meningkat yaitu 0,045 mg/L, untuk sampel AA3 nilai Cu pada pengujian

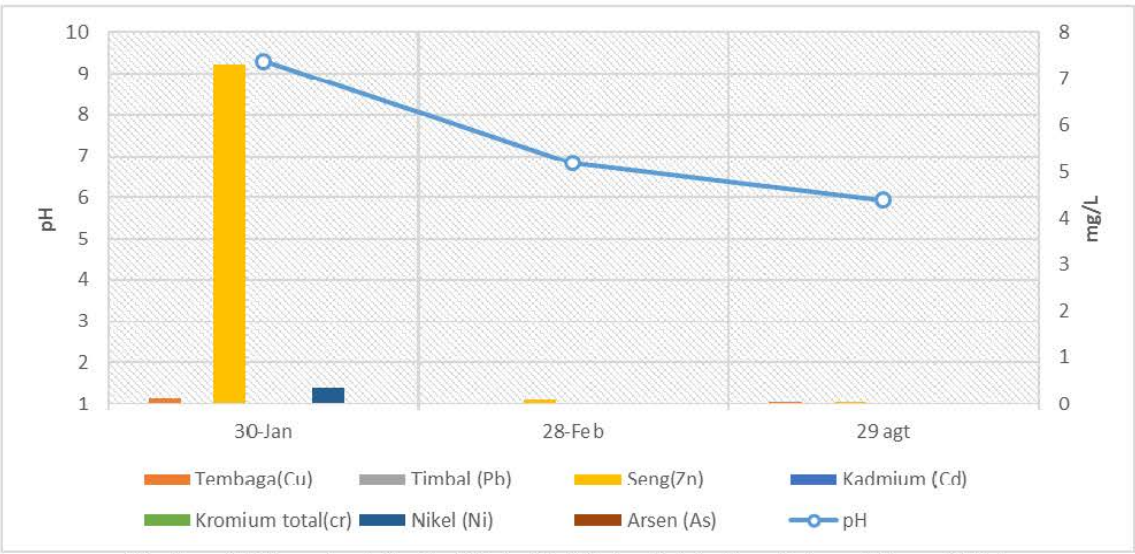
siklus awal mempunyai nilai konsentrasi yang cukup besar yaitu 0,133 mg/L dan menurun signifikan pada siklus kedua yaitu <0,001 dan sedikit meningkat pada siklus ketiga yaitu dengan nilai sebesar 0,038 mg/L. Pada logam Zn dan Ni konsentrasi logam cenderung stabil pada keseluruhan sampel dengan nilai rata-rata 0,01 mg/L. Namun pada sampel AA3 siklus 1 nilai Zn dan Ni lebih besar yaitu 7,31 mg/L untuk konsentrasi Zn dan 0,345 untuk konsentrasi Ni. Konsentrasi arsen (As) pada sampel *advance argilic* siklus pertama dan kedua mempunyai nilai yang sangat kecil yaitu <0,001 mg/L sedangkan untuk siklus ketiga nilai arsen pada sampel AA1 0,004 mg/L sampel AA2 sebesar 0,022 mg/L dan sampel AA3 sebesar 0,01 mg/L.



Gambar-15. Konsentrasi Cu, Zn, Cd, As, Pb, Ni dan Cr terkait perubahan pH Sampel AA1



Gambar-16. Konsentrasi Cu, Zn, Cd, As, Pb, Ni dan Cr terkait perubahan pH Sampel AA2

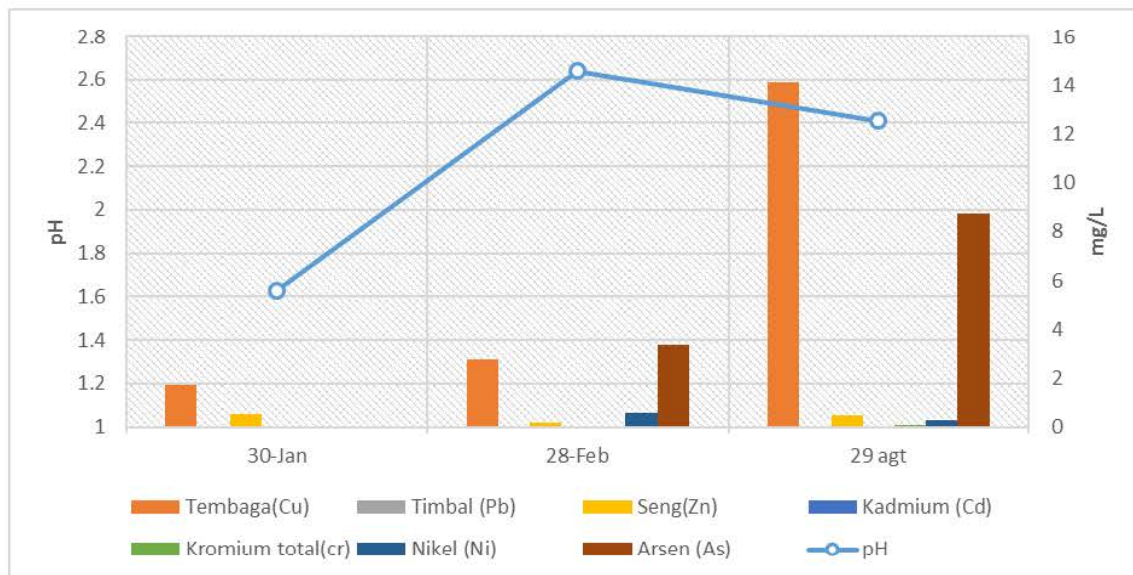


Gambar-17. Konsentrasi Cu, Zn, Cd, As, Pb, Ni dan Cr terkait perubahan pH Sampel AA3

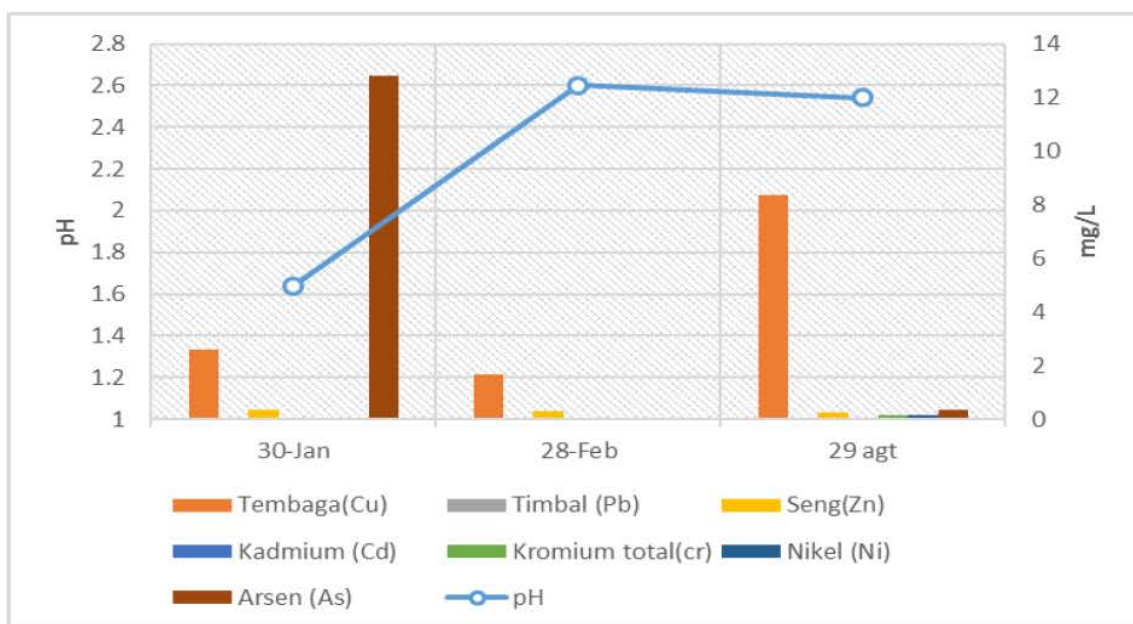
Alterasi *Silisic*

Konsentrasi logam terhadap perubahan pH pada sampel alterasi *silisic* ditunjukkan pada gambar 18, gambar 19, dan gambar 20. Hasil analisis konsentrasi logam terhadap penerunan pH pada sampel terlihat bahwa konsentrasi logam Pb dan Cd mempunyai konsentrasi yang sangat kecil yaitu $<0,001$ mg/L atau hampir tidak dapat terdeteksi pada keseluruhan sampel alterasi *silisic*. Sedangkan untuk konsentrasi logam Cu pada sampel SI1 meningkat cukup tinggi mencapai 14,1 mg/L, pada sampel SI2 dan SI3 kandungan Cu mengalami penurunan tidak terlalu besar dan masih berada pada nilai rata-rata 2 mg/L dan meningkat pada siklus ketiga dengan nilai rata-rata konsentrasi Cu sebesar 8,3 mg/L. Pada logam Zn konsentrasi nilai sampel SI1 lebih besar dari sampel SI2 dan SI3 pada keseluruhan siklus pengukuran yaitu nilai SI2 dan SI3 mempunyai nilai rata-rata 0,200 mg/L sedangkan pada sampel SI1 pada siklus pertama dan ketiga nilai rata-rata konsentrasi Zn adalah 0,500 mg/L namun nilai konsentrasi siklus kedua lebih kecil yaitu

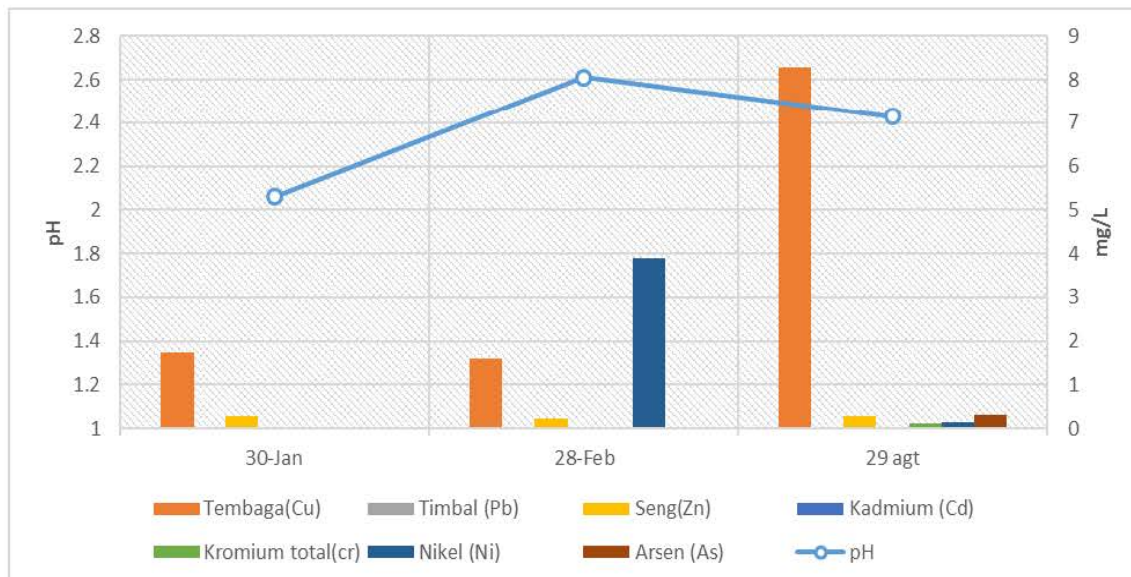
0,158 mg/L. Konsentrasi nilai logam Cr untuk keseluruhan sampel alterasi *silisic* mempunyai nilai yang kecil yaitu $<0,1$ mg/L pada siklus pertama dan kedua, sedangkan pada siklus ketiga nilai rata-rata keseluruhan sampel alterasi *silisic* adalah 0,1 mg/L. Konsentrasi logam nikel (Ni) pada siklus pertama cenderung kecil yaitu 0,001 mg/L pada siklus kedua kandungan nikel lebih besar yaitu pada sampel SI3 mencapai 3,89 mg/L sedangkan pada siklus ketiga konsentrasi nikel untuk sampel SI1 adalah 0,281 mg/L dan sampel SI2 dan SI3 mempunyai nilai rata-rata 0,15 mg/L. Konsentrasi Arsen (As) pada siklus pertama cenderung kecil yaitu 0,001 mg/L untuk sampel SI1 dan SI3 sedangkan untuk sampel SI2 kandungan arsen cukup besar yaitu 12,8 mg/L, pada siklus kedua konsentrasi arsen untuk sampel SI2 dan SI3 adalah 0,04 mg/L dan 0,01 mg/L sedangkan untuk sampel SI1 kandungan arsen cukup besar yaitu 3,36 mg/L, Konsentrasi arsen pada siklus ketiga rata-rata yaitu 0,3 mg/L untuk sampel SI2 dan SI3 sedangkan untuk sampel SI1 kandungan arsen cukup besar yaitu 8,73 mg/L.



Gambar-18. Konsentrasi Cu, Zn, Cd, As, Pb, Ni dan Cr terkait perubahan pH Sampel SI1



Gambar-19. Konsentrasi Cu, Zn, Cd, As, Pb, Ni dan Cr terkait perubahan pH Sampel SI2



Gambar-20. Konsentrasi Cu, Zn, Cd, As, Pb, Ni dan Cr terkait perubahan pH Sampel SI3

KESIMPULAN

1. pH sampel air lindian hasil uji FDCL alterasi *advance argilic* mempunyai pH rata-rata 7,94 dan mempunyai nilai TDS yang rendah dan kandungan Fe, sulfat dan logam yang rendah sehingga sampel alterasi *advance argilic* tidak berpotensi menghasilkan air asam tambang.
2. Air lindian hasil uji kinetik pada alterasi silisic berpotensi menghasilkan air asam tambang dengan pH rata-rata 2,25 dan mempunyai kandungan Fe, Sulfat dan beberapa kandungan logam yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Lingkungan Pertambangan ITB yang telah memberi dukungan dalam bentuk finansial, fasilitas, atau legalitas terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arribas Jr, Antonio. 1995. *Characteristics of high sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid*. Mineralogical Association of Canada Short Course, 23.
- [2] Gautama, R.S. 2014. *Pembentukan, pengendalian dan pengelolaan air asam tambang (acid mine drainage)*. Penerbit ITB. Bandung.
- [3] Simmons, S.F., White, N.C., dan John, D.A. 2005: *Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits*. Society of Economic Geologist, pp, 485-522.
- [4] Sparkes, Greg. 2012. *A prospector's guide to alteration and epithermal gold mineralization.*, Geological Survey of Newfoundland and Labrador.
- [5] Syafrizal., Heriawan, M.N., dan Indriati, T. 2012: *Aplikasi mikrottermometri dalam eksplorasi endapan epithermal*. Majalah Pertambangan Indonesia, 3, 34-42.

- [6] Thompson, A.J.B. 1993. *Atlas of alteration*, Geological Association of Canada. Mineral Deposits Division. Canada.
- [7] AMIRA International. 2002. *ARD Test Handbook*. Ian Wak Research Institute. New Zealand.
- [8] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 202 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan atau Kegiatan Pertambangan Bijih Emas dan atau Tembaga.
- [9] Lottermoser, B. 2007. *Mine Wastes - Characterisation, Treatment and Environmental Impacts*. Springer-Verlag Berlin, Germany, 291 p.