

# PENINGKATAN PERSEN EKSTRAKSI PROSES PELINDIAN EMAS DAN PERAK MENGGUNAKAN VARIASI TEKNIK PENINGKATAN OKSIGEN TERLARUT SPARGER LANCE, PEROXIDE INJECTION DAN HIGH SHEAR REACTOR

*Increasing Percent Extraction of Gold and Silver Leaching Process Using Variations of Dissolved Oxygen Enhancement Sparger Lance, Peroxide Injection, and High Shear Reactor Techniques*

DIKRI F. RAMADHAN\*, IMELDA E. R. HUTABARAT\*\*, DENNY L. RAJA\*\* dan SULAEMAN\*\*

Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung  
Jl. Jend. Sudirman No.623, Kota Bandung, Jawa Barat 40211  
Korespondensi e-mail : [dikrifajar@gmail.com](mailto:dikrifajar@gmail.com)  
\* Kontributor Utama, \*\* Kontributor Anggota

---

## ABSTRAK

Pelindian sianidasi sudah menjadi teknik yang paling menarik untuk mengekstraksi emas dan perak. Dalam proses sianidasi emas dan perak, PT Indo Muro Kencana (IMK) menerapkan 3 (tiga) teknik peningkatan oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*). Konsentrasi DO biasanya menjadi faktor pembatas laju dalam proses sianidasi emas. Penggunaan sistem bertekanan juga mampu meningkatkan konsentrasi DO dalam air. Teknik injeksi oksigen dengan *sparger lance* (*standard/STD*), *peroxide injection* (PRX) dan reaktor *high shear* (*Aachen assisted leach/AAL*) digunakan untuk mengoptimalkan proses sianidasi karena karakteristik bijih yang diproses yang semakin kompleks sejak 2021. Penggunaan reaktor *high shear* merupakan teknik terbaru yang diimplementasikan sejak April 2022, setelah sebelumnya PT IMK mengimplementasikan penggunaan *peroxide injection* dan *sparger lance*. Mengetahui persen ekstraksi yang dihasilkan dan kestabilannya dalam menghasilkan persen ekstraksi dengan komposisi bijih yang berbeda merupakan tujuan dari penelitian ini. Oksigen yang digunakan untuk masing-masing teknik tersebut adalah sama yaitu sekitar *flow* 548 kg/jam; kadar 90%-93%; tekanan 4-6 Kpa. Serangkaian *leach test* dilakukan untuk melihat persen ekstraksi emas dan perak. Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan, teknik reaktor *high shear* ini menghasilkan ekstraksi emas dan perak tertinggi secara berturut-turut yaitu 97,06% dan 82,82%. Perbedaan komposisi bijih yang diumpankan pada setiap percobaan berpengaruh terhadap proses pelindian. Pelindian dengan teknik reaktor *high shear* menghasilkan persen ekstraksi dengan stabilitas lebih tinggi dibandingkan dengan proses pelindian menggunakan dua teknik lainnya.

Kata kunci: sianidasi, oksigen terlarut, *sparger lance*, injeksi peroksida, reaktor *high shear*.

## ABSTRACT

*Cyanidation leaching has become the most intriguing technique for extracting gold and silver. In the gold and silver cyanidation process, PT Indo Muro Kencana (IMK) implements three (3) dissolved oxygen (DO) enhancement techniques. The concentration of DO typically becomes the limiting factor in the gold cyanidation process. The use of a pressurized system can also increase the DO concentration in water. Oxygen injection techniques with a sparger lance (standard/STD), peroxide injection (PRX), and high shear reactor (Aachen assisted leach/AAL) are employed to optimize the cyanidation process due to the increasingly complex characteristics of the processed ore*

since 2021. The use of a high shear reactor is the latest technique implemented since April 2022, following the previous implementation of peroxide injection and sparger lance by PT IMK. The objective of this study is to determine the extraction percentage and its stability in producing extraction percentages with different ore compositions. The oxygen used for each technique is the same, approximately 548 kg/hour flow rate, 90%-93% purity, and 4-6 KPa pressure. A series of leach tests are conducted to observe the extraction percentage of gold and silver. Based on the conducted tests, the reactor high shear technique yields the highest extraction percentages for gold and silver, namely 97.06% and 82.82% respectively. Leaching with the high shear reactor technique resulted in a higher percent extraction stability than the leaching process using the other two techniques.

Keywords: cyanidation, dissolved oxygen, sparger lance, peroxide injection, high shear reactor.

## PENDAHULUAN

Sianidasi telah menjadi teknik ekstraksi emas yang paling menarik (Li *dkk.*, 2023; Sarvar *dkk.*, 2023; Sasaki *dkk.*, 2023), karena stabilitas kompleks sianida yang tinggi, selektivitas tertentu, dan biaya rendah. Namun, timbul masalah seperti toksisitas tinggi, perolehan emas dan perak rendah, dan penggunaan reagen tinggi untuk ekstraksi bijih polimetalik kompleks. Oleh karena itu, penting untuk meningkatkan interaksi sianidasi agar berjalan lebih efektif dan penggunaan sianida yang lebih rendah. Optimalisasi penggunaan oksigen terlarut dapat menjadi salah satu proses optimasi tersebut (Sarvar *dkk.*, 2023). Proses ekstraksi emas yang dilakukan PT Indo Muro Kencana (PT IMK) menerapkan tiga strategi peningkatan oksigen terlarut (*dissolved oxygen /DO*), yaitu *Standard (STD)*, *Peroxide Injection (PRX)*, dan teknik terbaru yang diterapkan sejak April 2022 yaitu reaktor *high shear/Aachen Assisted Leach (AAL)*. Namun, tingkat efisiensi serta efektivitasnya masih perlu diteliti lebih lanjut.

Bijih kompleks yang mempunyai karakteristik viskositas tinggi karena mengandung mineral berjenis lempung (*clay*), memiliki sifat permukaan yang mampu membuatnya menarik ion positif dari larutan/*solution*, membentuk lapisan ionik yang membuat *slurry* menjadi lebih kental (Bergaya dan Lagaly, 2013) dan mempunyai kandungan sulfida tinggi yang dapat membentuk lapisan film pada permukaan emas. Akibat dari viskositas tinggi membuat *slurry* semakin kental dan dapat menimbulkan hambatan yang signifikan pada pengadukan (Mehta dan Sutaria, 2021). Hal tersebut disebabkan oleh terbentuknya gumpalan dengan ukuran partikel yang lebih besar, sehingga partikel padatan tersebut akan membentuk lapisan yang menghambat kelarutan oksigen. Penurunan DO juga dipengaruhi oleh kandungan sulfida yang

tinggi karena oksigen juga akan mengoksidasi pengotor (Soto, 2020; PT IMK, 2021c), sehingga optimalisasi peningkatan DO pada bijih kompleks diharapkan akan meningkatkan persen ekstraksi emas dan perak.

Kehadiran mineral sulfida dalam bijih diketahui mengurangi tingkat laju reaksi sianidasi dengan membentuk lapisan *film* pasif pada permukaan emas (Deschênes, 2016; PT IMK, 2021a). Mineral sulfida seperti *pyrite*, dapat teroksidasi membentuk ferri-hidroksida (FeOOH) yang mengendap di permukaan emas dan perak kemudian membentuk pasivasi pada permukaannya, sehingga emas tidak dapat berkontak dengan sianida. Selain itu, *pyrite* juga dapat bereaksi dengan sianida dan oksigen membentuk kompleks besi (II) sianida. Hal ini akan menyebabkan tingginya konsumsi oksigen (Breuer, Hewitt dan Meakin, 2008). Selain itu juga terdapat mineral *argentite* dan *achantite* (Ag<sub>2</sub>S) yang merupakan mineral pembentuk perak. Pada dasarnya mineral sulfida jika terdapat dalam jumlah yang besar dapat menghambat reaksi pelindian emas dan perak. Meskipun demikian oksigen dapat berperan baik dalam hal mengatasi mineral-mineral sulfida, karena oksigen dapat meningkatkan laju pelarutan pada emas maupun perak.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan persen ekstraksi yaitu dengan melakukan percobaan untuk menentukan teknik peningkatan DO (oksidasi) yang paling tepat dalam proses pelindian emas dan perak dengan proses sianidasi di PT IMK. Menurut Marsden dan House (2006), oksigen merupakan sebuah pembatas laju pelindian. Oleh karena itu efektifitas dan efisiensi teknik peningkatan DO yang digunakan dalam penelitian ini perlu diketahui.

Teknik peningkatan DO STD menggunakan *sparger lance*, merupakan teknik peningkatan DO dengan menambahkan oksigen secara langsung diinjeksikan kedalam tangki pelindian-1 dengan DO yang dihasilkan sekitar 18-20 mg/L, sedangkan untuk peningkatan DO PRX dengan penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada proses pelindian, ditambahkan pada area *underflow thickener* yang terletak sebelum tangki pelindian menghasilkan DO 19-20 mg/L. Selain itu, peningkatan DO AAL menggunakan reaktor *high shear*, berawal dari *slurry* yang masuk kedalam reaktor terlebih dahulu dilakukan proses injeksi oksigen dan peningkatan DO dengan memanfaatkan gaya turbulensi serta tekanan yang tinggi dengan hasil DO 25-30 mg/L. Masing-masing teknik menggunakan injeksi oksigen yang sama yaitu *flow* 548 kg/jam; kadar 90%-93%; tekanan 4-6 Kpa (PT IMK, 2021b). Dalam penelitian ini dilakukan pengkajian mengenai pengaruh dari pencampuran karakteristik bijih yang berbeda terhadap performa dari ketiga teknik peningkatan DO untuk menghasilkan porsen ekstraksi tertinggi berdasarkan perbedaan teknik.

## METODE

Pengujian dalam skala laboratorium dilakukan untuk mengetahui efektivitas dan efisiensi dari tiga teknik peningkatan oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*) yang mampu memberikan ekstraksi paling tinggi dengan perbedaan kombinasi bijih yang terjadi di IMK. Pada teknik STD dan PRX, oksigen yang diinjeksikan selama proses pelindian mencapai 20 mg/L agar sesuai dengan hasil DO yang dihasilkan pada kondisi lapangan, sedangkan pada teknik AAL, oksigen yang diinjeksikan berdasarkan hasil dari kondisi aktual pada reaktor di lapangan yaitu sekitar 25-35 mg/L. Seluruh pengujian dan analisis kimia dilakukan di Laboratorium Metalurgi milik IMK. Adapun metode penelitian yang digunakan yaitu metode *leach test* dengan parameter utama yang diamati yaitu porsen ekstraksi emas dan perak. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu teknik peningkatan DO, sedangkan variabel tetapnya yaitu pH, waktu tinggal, volume *slurry*, viskositas *slurry* dan porsen padatan. Variabel

proses tersebut dikondisikan agar mendekati kondisi aktual di lapangan. Sampel yang digunakan dalam seluruh pengujian merupakan sampel yang diambil melalui tangki pelindian-1 pada tanggal 26 November - 28 Januari 2023 secara *batch*. Setelah itu, dilakukan pengambilan sampel pada jam ke-0 dari masing-masing variasi sebanyak 200 ml *slurry* untuk dijadikan sebagai sampel inisial, selanjutnya terhadap sampel inisial dilakukan penyaringan untuk memisahkan antara padatan dan larutannya. Selanjutnya sampel padatan dikeringkan pada suhu 120°C selama kurang lebih 12 jam, sedangkan sampel larutan langsung dianalisis menggunakan metode *atomic adsorption spectrophotometri* (AAS).

Di samping itu, sebelumnya juga dilakukan analisis *specific gravity* dengan menggunakan piknometer agar pengukuran porsen solid dan perhitungan waktu tinggal (*residence time/RT*) aktual secara teoritis juga dilakukan sebagai pembandingan RT pada pengujian *leach test*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Ekstraksi Emas dan Perak

Data hasil pengujian *leach test* berupa jumlah masing-masing logam dalam *solution* dan *tailing (solid)*. Berdasarkan data tersebut, dapat dilakukan perhitungan porsen ekstraksi emas dan perak dari pengujian yang telah dilakukan. Adapun rumus perhitungan porsen ekstraksi ialah sebagai berikut:

$$\% \text{ Ekstraksi} = \frac{M \text{ di Sln}}{M \text{ di tail} + M \text{ di Sln}} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

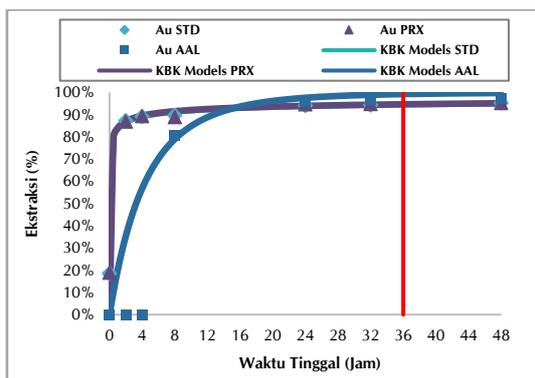
M di sln : massa logam di solution

M di Tail : massa logam di *tailing (solid)*

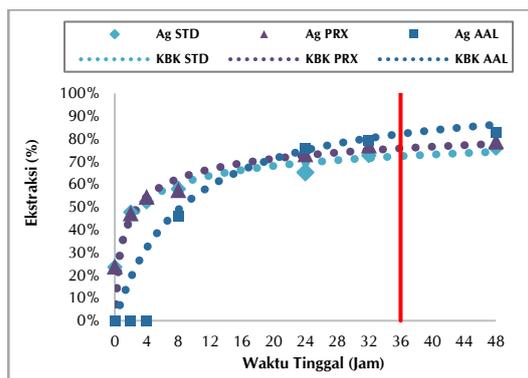
Setelah dihitung, data tersebut disajikan pada Tabel 1, kemudian dibuat grafiknya agar dapat teramati tren dari ekstraksi emas dan perak. Grafik hasil pengujian untuk masing-masing ekstraksi emas dan perak pada variasi teknik STD, PRX dan AAL ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Rata-rata persen ekstraksi terhadap waktu tinggal dari 14 batch percobaan

Waktu Tinggal Jam	STD		PRX		AAL	
	Au	Ag	Au	Ag	Au	Ag
0	18,53%	23,55%	18,81%	23,81%	-	-
2	87,23%	47,78%	86,86%	47,21%	-	-
4	89,08%	52,29%	89,33%	54,53%	-	-
8	89,68%	57,92%	88,85%	57,47%	80,45%	45,89%
24	94,09%	65,32%	94,61%	73,24%	95,94%	75,83%
32	94,30%	72,69%	94,76%	77,05%	96,71%	79,49%
48	95,25%	76,00%	95,22%	78,64%	97,06%	82,82%



Gambar 1. Pengaruh ekstraksi emas terhadap waktu



Gambar 2. Pengaruh ekstraksi perak terhadap waktu

Berdasarkan data yang tersaji pada Tabel 1 menunjukkan bahwa Teknik AAL tidak dilakukan pengambilan sampel karena pengujian menggunakan alat reaktor skala lapangan. Hal ini mengindikasikan bahwa keterbatasan alat membatasi kemungkinan pengujian laboratorium. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya agar dilakukan secara laboratorium.

Persamaan model kinetik pada penelitian ini telah digunakan untuk membantu menginterpretasikan data pelindian eksperimen dan juga dapat digunakan untuk memprediksi kinerja instalasi pelindian kontinyu dari data percobaan *batch* (Woollacott, Stange dan King, 1990; Stange, 1999). Ringkasan persamaan model yang digunakan adalah *Kinetic Based Kinetic* (KBK) yang dijelaskan sebagai berikut:

$$\left( [(S_0 - \Theta)^{(1-n)} + (n - 1) \times k \times t]^{1/(1-n)} \right) + \Theta \quad (2)$$

Keterangan:

$S_0$  : Konsentrasi awal (*head-grade*) logam yang digunakan pada *batch leach test*

$\Theta$  (Theta) : Tingkat konversi atau tingkat perubahan konsentrasi zat terlarut dalam larutan atau padatan yang mengalami *leaching*

$N$  : Orde kinetika, merupakan parameter yang menggambarkan hubungan antara tingkat perubahan  $\Theta$  dengan perubahan konsentrasi

$K$  : parameter yang menggambarkan kecepatan reaksi atau pelarutan zat

Parameter ini diestimasi dari data pelindian *batch* menggunakan fitur *Solver* dalam *Spreadsheet* seperti Excel. Parameter tersebut dapat digunakan untuk memprediksi kinerja instalasi pelindian kontinyu dalam kondisi yang berbeda.

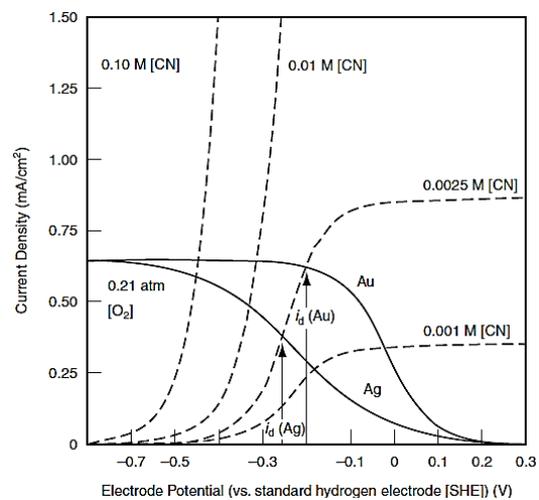
Berdasarkan persen ekstraksi emas dari ketiga teknik peningkatan DO, teramati bahwa pada jam ke-24 semua teknik memiliki kecenderungan stabil hingga jam berikutnya dengan persen ekstraksi emas tertinggi pada jam ke-48 yaitu pada teknik AAL sebesar 97,06% sementara untuk STD dan PRX lebih

rendah dibandingkan dengan teknik AAL sebesar 95,25% dan 95,22%. Teknik peningkatan DO STD dan PRX keduanya mempunyai ekstraksi yang tidak terlalu signifikan berbeda. Begitu pun yang terjadi pada perak stabil pada jam ke-24 dengan ekstraksi tertinggi pada jam ke-48 yaitu sebesar 82,82%. Namun pada ekstraksi jam ke-48 teknik STD dan PRX teramati mempunyai perbedaan sekitar 2,64%, secara berturut-turut ekstraksi perak pada STD dan PRX yaitu 76,00% dan 78,64%.

Pada grafik, garis warna merah menunjukkan waktu tinggal pelindian aktual di lapangan hal ini dibuktikan dengan data pengukuran dan perhitungan parameter aktual dari mulai viskositas *slurry*, porsen padatan dan *specific gravity* bijih (*SG ore*), densitas *slurry* dan laju *slurry*. Adapun data pengukuran dan perhitungan waktu tinggal aktual disajikan dalam Tabel 2 teramati bahwa rerata waktu tinggal aktual dari 14 *batch* percobaan adalah 36 jam.

Pada hasil pengujian teramati bahwa teknik STD pada waktu tinggal 32 jam, memiliki nilai rata-rata porsen ekstraksi Au dan Ag berturut-turut 94,3% dan 72,7%, sementara pada teknik PRX sebesar 94,8% dan 77,1% dan untuk teknik AAL 96,7% dan 79,5%. Dari hasil yang diperoleh didapatkan bahwa teknik yang paling tinggi porsen ekstraksi emas dan peraknya adalah AAL seperti yang terlihat pada

Tabel 1 serta kinetika laju reaksi pelindian emas dan perak pada Gambar 1 dan Gambar 2. Terlihat bahwa ekstraksi perak masih terus meningkat berbeda dengan ekstraksi emas yang cenderung stabil karena sudah mencapai batas kejenuhan dalam reaksi, hal ini disebabkan pada laju disolusi perak lebih lambat dibandingkan dengan emas namun akan semakin cepat seiring konsentrasi sianida yang lebih tinggi sesuai dengan kurva arus-potensial pada Gambar 3 (Habashi, 1997; Seetharaman, 2005; Marsden dan House, 2006; Sabara dkk., 2018).



Gambar 3. Pengaruh potensial standar larutan terhadap rapat arus pada berbagai konsentrasi sianida (Habashi, 1997)

Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan parameter aktual dari 14 *batch* percobaan

Batch	Padatan	SG Bijih	Densitas <i>Slurry</i>	Laju <i>Slurry</i>	Waktu Tinggal
	%	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /jam	jam
1	41	2,60	1,34	343,57	39,04
2	43	2,60	1,36	346,13	38,75
3	40	2,60	1,33	352,80	38,01
4	42	2,60	1,35	292,87	45,79
5	40	2,60	1,33	374,82	35,78
6	38	2,60	1,31	401,94	33,37
7	40	2,60	1,33	374,11	35,85
8	37	2,60	1,29	418,04	32,08
9	42	2,60	1,35	322,09	41,64
10	38	2,60	1,31	401,81	33,38
11	39	2,60	1,32	400,57	33,48
12	39	2,60	1,32	415,89	32,25
13	40	2,60	1,33	383,35	34,98
14	41	2,60	1,34	372,40	36,01
$\bar{x}$	40	2,60	1,33	371,46	36,46

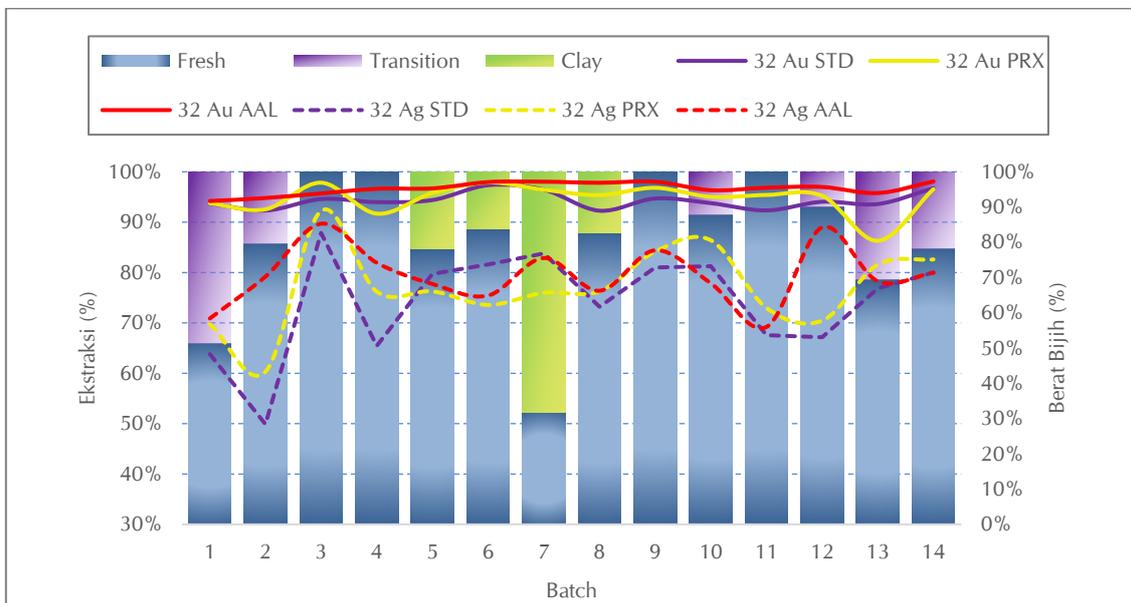
Perlambatan ini dihitung menggunakan persamaan kinetika campuran yang dilakukan (Hiskey dan Sanchez, 1990) yang menyimpulkan bahwa kerapatan arus pelarutan untuk perak kira-kira setengah dari kerapatan arus pelarutan untuk emas. Akibatnya, pabrik yang mengolah bijih dengan kandungan perak lebih tinggi cenderung menggunakan sianida yang tinggi untuk melarutkan perak yang lebih banyak.

**Performa Ekstraksi Pada Komposisi Bijih**

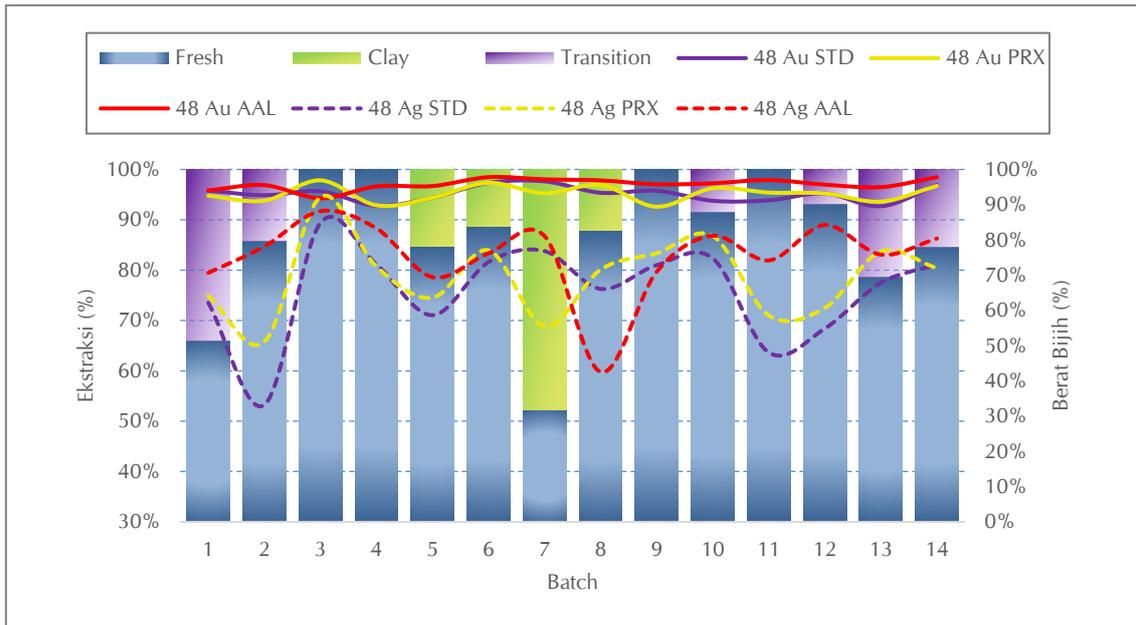
Faktor lain untuk melihat performa dari ketiga teknik dalam peningkatan DO adalah komposisi bijih (*ore blending*). Pengelompokan jenis bijih di PT IMK berdasarkan densitas terbagi menjadi tiga bagian yaitu *fresh*, *clay* dan transisi. Seringkali karakteristik bijih yang diperoleh berbeda-beda dari proses pengumpanan di area *stockpile*. Hal ini mengakibatkan kadar DO dalam air pada proses pelindian mengalami perubahan. Salah satu penyebabnya adalah viskositas dari bijih jenis *clay* yang bisa menghambat proses pengadukan sehingga proses pembentukan DO tidak berjalan maksimal serta kandungan sulfida yang tidak

dapat diabaikan. Oleh sebab itu, dilakukan analisis dari ekstraksi yang dihasilkan pada setiap teknik terhadap komposisi bijih setiap batch percobaan yang tersajikan pada Gambar 4 untuk waktu tinggal 32 jam dan Gambar 5 untuk waktu tinggal 48 jam.

Teramati dari Gambar 4 dan 5, bahwa teknik peningkatan DO AAL mempunyai tingkat kestabilan ekstraksi emas yang paling stabil dibandingkan dengan ekstraksi dari teknik peningkatan DO STD dan PRX meskipun dengan kondisi bijih yang berbeda. Namun kecenderungan teknik yang paling bagus dalam hal ekstraksi perak tidak bisa dilihat hanya dari faktor perbedaan oksigen terlarut ketiga teknik saja, meskipun teknik AAL cenderung lebih bagus dari teknik lainnya seperti pada komposisi *fresh-transisi*, semua *fresh* dan komposisi *fresh-clay*. Hal ini membuktikan bahwa perak mempunyai pengaruh lain yang lebih berpengaruh seperti konsentrasi NaCN dan waktu tinggal yang lebih panjang serta kandungan sulfida pada mineral pembawa perak juga sangat berpengaruh yang berarti ekstraksi perak mempunyai permasalahan yang lebih kompleks.



Gambar 4. Performa ekstraksi pada waktu tinggal 32 jam



Gambar 5. Performa ekstraksi pada waktu tinggal 48 jam

Ketika komposisi bijihnya sama terlihat pada *batch* 3, 4, 9 dan 11 kecenderungan ekstraksi yang dihasilkan perak itu berbeda. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh perbedaan kandungan sulfida pada setiap tipe bijihnya, sehingga tidak dapat disimpulkan bahwa tipe *fresh* dan transisi memiliki ekstraksi yang paling tinggi, seperti yang dilakukan penelitian terdahulu (Suputra dkk., 2022). Namun pada *batch* 4 dan 11 menunjukkan kecenderungan ekstraksi perak menurun dibandingkan *batch* 3 dan 9 menaik pada komposisi 100% *fresh*. Hal tersebut disebabkan oleh pengaruh DO dan konsumsi NaCN yang berbeda diantara setiap *batch* nya. Selain itu, pada *batch* 3 dan 7 untuk teknik AAL pada ekstraksi emas menunjukkan bahwa, meskipun dengan komposisi *clay* yang tinggi, ekstraksi emas yang diperoleh lebih tinggi dibanding dengan komposisi 100% *fresh*. Hal tersebut juga disebabkan oleh tingginya DO dan konsumsi NaCN yang menjadi faktor pengaruh pada pelindian emas dan perak.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengujian sianidasi emas dan perak terhadap ketiga teknik peningkatan DO dalam sampel *slurry* tangki pelindian-1, dapat disimpulkan bahwa:

- Pada hasil persen ekstraksi emas dan perak teknik reaktor *high shear/Aacen Assisted*

*Leach* (AAL) mulai dari waktu tinggal 24 jam hingga 48 jam lebih unggul dibandingkan teknik lainnya dengan ekstraksi tertinggi 97,06% emas dan 82,82% perak.

- Terbukti dalam beberapa percobaan performa ekstraksi, jenis bijih *fresh* tidak selalu menjadi yang terbaik dibanding jenis transisi dan *clay*.
- Meningkatnya DO tidak selalu menjadi faktor dalam meningkatkan persen ekstraksi. Namun selain itu, konsumsi NaCN juga dapat mempengaruhi ekstraksi emas dan perak.

Saran atau rekomendasi untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya diuraikan sebagai berikut:

- Merekomendasikan penggunaan teknik reaktor *high shear/Aacen Assisted Leach* (AAL) bagi PT IMK dalam mengatasi permasalahan bijih kompleks/sulfida.
- Peningkatan waktu pelindian hingga 48 jam untuk meningkatkan persen ekstraksi perak diatas 79%.
- Pada penelitian selanjutnya, dilakukan pengujian pada skala laboratorium dengan alat pengukuran DO yang sama. Sehingga dapat melihat perbedaan yang jelas oksigen yang terlarut dari ketiga teknik dengan variasi jenis bijih.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT IMK atas kesempatan yang diberikan untuk melakukan penelitian dan PEP Bandung yang telah mendukung proses penelitian dan publikasi. Penulis berterima kasih atas bantuan yang diberikan dalam memberikan akses ke fasilitas, bahan, dan data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan industri dan masyarakat luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bergaya, F. dan Lagaly, G. (2013) *Handbook of clay science*. 2 ed. Elsevier.
- Breuer, P.L., Hewitt, D.M. dan Meakin, R.L. (2008) "Does pre-oxidation or lead(II) addition reduce the impact of iron sulfides in cyanidation?," in C.A. Young (ed.) *Hydrometallurgy 2008: Proceedings of the Sixth International Symposium*. Phoenix, Arizona: Society for Mining Metallurgy and Exploration Inc., hal. 750–757.
- Deschênes, G. (2016) "Advances in the Cyanidation of Gold," in *Gold Ore Processing*. Elsevier, hal. 429–445. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00026-8>.
- Habashi, F. (1997) *Handbook of extractive metallurgy, Volume 3*. Wiley VCH.
- Hiskey, J.B. dan Sanchez, V.M. (1990) "Mechanistic and kinetic aspects of silver dissolution in cyanide solutions," *Journal of Applied Electrochemistry*, 20(3), hal. 479–487. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/BF01076060>.
- Li, Q., Xie, F., Chang, Y., Wang, W. dan Zhang, L. (2023) "Behavior and mechanism of cyanide loss in ultrasound-assisted gold leaching process," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 33(2), hal. 609–618. Tersedia pada: [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(22\)66132-6](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(22)66132-6).
- Marsden, J.O. dan House, C.I. (2006) *The chemistry of gold extraction*. 2 ed. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/BF03215543>.
- Mehta, V.R. dan Sutaria, M.P. (2021) "Investigation on the Effect of Stirring Process Parameters on the Dispersion of SiC Particles Inside Melting Crucible," *Metals and Materials International*, 27(8), hal. 2989–3002. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00612-0>.
- PT IMK (2021a) *Data mineralogi ore PT IMK tahun 2022-2023*. Kalimantan Tengah.
- PT IMK (2021b) *Data oxygen plant IMK 2021-2022*. Kalimantan Tengah.
- PT IMK (2021c) *Laporan harian leaching profile PT IMK tahun 2022-2023*. Kalimantan Tengah.
- Sabara, Z., Iffa, L., Darnengsih dan Irmayani (2018) "Ekstraksi emas dari biji emas dengan sianida dan oksigen dengan metode ekstraksi padat-cair," *Journal of Chemical Process Engineering*, 2(2), hal. 12–15. Tersedia pada: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33536/jcpe.v2i2.157>.
- Sarvar, M., Shafaei Tonkaboni, Z., Noaparast, M., Badiie, A.R. dan Amiri, A. (2023) "Application of amino acids for gold leaching: Effective parameters and the role of amino acid structure," *Journal of Cleaner Production*, 391, hal. 136123. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136123>.
- Sasaki, K., Suyama, I., Aoki, Y., Konadu, K.T., Cindy, Chuaicham, C., Miki, H. dan Hirajima, T. (2023) "Significance of Fe contents on the surface of the gold ores in gold leaching by thiourea and ethylene thiourea," *Minerals Engineering*, 191, hal. 107957. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107957>.
- Seetharaman, S. (ed.) (2005) *Fundamentals of metallurgy*. CRC Press.
- Soto, C. (2020) *Do clay minerals affect the thickener operation in Chuquicamata mine, Calama, Chile?* Luleå University of Technology.
- Stange, W. (1999) "The process design of gold leaching and carbon-in-pulp circuits," *The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 99(1), hal. 13–25.
- Suputra, I.M.D., Yunanto, T., Putra, I. dan Sulaeman (2022) "Analisis tingkat ekstraksi emas dan perak pada proses pelindian terhadap bijih fresh, transition dan clay di PT Indo Muro Kencana," *PROMINE*, 10(2), hal. 70–74.
- Woollacott, L.C., Stange, W. dan King, R.P. (1990) "Towards more effective simulation of CIP and CIL processes. 1. The modelling of adsorption and leaching," *Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy*, 90(10), hal. 275–282.