

**PENGARUH PENAMBAHAN AGEN PENGKELAT PADA
PELINDIAN BIJIH EMAS TAMBANG LENGKUKAI
KABUPATEN TANGGAMUS MENGGUNAKAN
KOMBINASI REAGEN TIOSIANAT
DAN TIOUREA**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik
Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

INDRIA SYAFITRI
3334170029

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PENAMBAHAN AGEN PENGKELAT PADA
PELINDIAN BIJIH EMAS TAMBANG LENGKUKAI
KABUPATEN TANGGAMUS MENGGUNAKAN
KOMBINASI REAGEN TIOSIANAT
DAN TIOUREA**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh :

Pembimbing I



Soesaptri Oediyani, Ir., M.E.
NIP. 196006232003122001

Pembimbing II



Fika Rofiek Mufakhir, S.T., M.T.
NIP. 198304052008011008

LEMBAR PERSETUJUAN
PENGARUH PENAMBAHAN AGEN PENGKELAT PADA
PELINDIAN BIJIH EMAS TAMBANG LENGKUKAI
KABUPATEN TANGGAMUS MENGGUNAKAN
KOMBINASI REAGEN TIOSIANAT
DAN TIOUREA


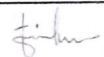

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Indria Syafitri

3334170029

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal:

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Ir. Soesaptri Oediyani, M.E.	
Penguji II	: Fika Rofiek Mufakhir, S.T., M.T.	
Penguji III	: Bening Nurul H.K, S.T., M.T.	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.

NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini Saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : PENGARUH PENAMBAHAN AGEN PENGKELAT
PADA PELINDIAN BIJIH EMAS TAMBANG
LENGKUKAI KABUPATEN TANGGAMUS
MENGUNAKAN KOMBINASI REAGEN
TIOSIANAT DAN TIOUREA

Nama Mahasiswa : Indria Syafitri

NIM : 3334170029

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli Saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya Saya, maka Saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja Saya nyatakan melalui lembar pernyataan.

Cilegon, Juni 2023



Indria Syafitri

NIM. 3334170029

ABSTRAK

Sekitar sepertiga produksi emas dunia merupakan bijih emas refraktori. Pengolahan bijih ini tidak dianjurkan menggunakan proses sianidasi karena dapat menurunkan persen ekstraksi emas hingga 50%, sehingga dilakukan penelitian menggunakan reagen alternatif yaitu kombinasi tiourea dan tiosianat yang memiliki efek sinergis dan mampu meningkatkan perolehan emas lebih tinggi. Namun tingginya dekomposisi tiourea karena adanya oksidator menjadi masalah utama dalam penggunaannya secara komersil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan asam sitrat dan asam asetat dalam kombinasi larutan pelindian tiosianat dan tiourea terhadap persen ekstraksi emas. Bahan baku yang digunakan adalah bijih emas dari Tambang Lengkuai yang merupakan jenis bijih emas refraktori. Kondisi pelindian dilakukan pada variabel tetap konsentrasi tiosianat 0,05 M, temperatur 35°C, pH 1,5, dan kecepatan pengadukan 250 rpm. Sedangkan variasi yang digunakan adalah tiourea 0,02; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 M, lalu feri sulfat sebagai oksidator 0,001; 0,002; 0,003; 0,004; dan 0,005 M. Kemudian variasi asam sitrat dan asam asetat sebagai agen pengkelat yang digunakan adalah 0,0015; 0,003; dan 0,006 M. Pada pelindian ini didapatkan hasil persen ekstraksi emas tertinggi pada penambahan asam sitrat dan asam asetat 0,006 M yaitu masing-masing sebesar 84,04% dan 83,5%. *Shrinking core model* digunakan untuk menentukan kinetika proses dengan pengendali laju reaksi adalah difusi lapisan abu didapatkan nilai energi aktivasi sebesar 16,99 kJ/mol.

Kata kunci: agen pengkelat, bijih emas tambang lengkuai, oksidator, tiourea, tiosianat.

ABSTRACT

About one-third of the world's gold production is refractory gold ore. Processing of these ores is not recommended using the cyanidation process because it can reduce the percentage of gold extraction by up to 50%, research is carried out using alternative reagents, namely the combination of thiourea and thiocyanate, which has a synergistic effect and is able to increase gold recovery higher. However, the high decomposition of thiourea due to the presence of oxidizers is a major problem in its commercial use. This study aims to determine the effect of the addition of citric acid and acetic acid in the combination of thiocyanate and thiourea leaching solutions on the percentage of gold extraction. The raw material used is gold ore from the Lengkokai Mine, a type of refractory gold ore. Leaching conditions were carried out on fixed variables of thiocyanate concentration of 0.05 M, temperature 35oC, pH 1.5, and stirring speed 250 rpm. While the variations used were thiourea 0.02; 0.05; 0.1; 0.15; 0.2 M, then ferric sulfate as oxidizer 0.001; 0.002; 0.003; 0.004; and 0.005 M. Then the variations of citric acid and acetic acid as chelating agents used were 0.0015; 0.003; and 0.006 M. In this leaching, the highest percentage of gold extraction was obtained in the addition of citric acid and acetic acid 0.006 M, which amounted to 84.04% and 83.5%, respectively. Shrinking core model was used to determine the kinetics of the process with the reaction rate controller being the diffusion of the ash layer with an activation energy value of 16.99 kJ/mol.

Keyword: *chelating agents, gold ore of lengkokai mines, thiourea, thiocyanate*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Pengaruh Penambahan Agen Pengkelat Pada Pelindian Bijih Emas Tambang Lengkuai Kabupaten Tanggamus Menggunakan Kombinasi Reagen Tiosianat Dan Tiourea” dengan baik. Proses penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak dan pada kesempatan ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan dan Koordinator Skripsi Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
2. Ibu Ir. Soesaptri Oediyani, M.E. selaku pembimbing I dan Bapak Fika Rofiek Mufakhir, S.T., M.T. selaku pembimbing II.
3. Orang tua penulis yaitu Bapak Syafri dan Ibu Fitri yang selalu memberikan doa dan dukungannya.
4. Staf Peneliti dan karyawan di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Lampung.
5. Keluarga besar Teknik Metalurgi 2017 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa serta pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan dan membantu Penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Karena itu, Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga Skripsi ini menjadi lebih baik lagi dan bermanfaat bagi penulis serta pembaca yang memerlukannya sebagai bahan kajian maupun sumber referensi. Atas perhatiannya, Penulis ucapkan terima kasih.

Cilegon, 8 Juni 2023

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Bijih Emas Tanggamus.....	6
2.2 Reagen Pelindian.....	7
2.2.1 Tiosianat.....	7

2.2.2	Tiourea	9
2.3	Pelindian Dual Reagen	10
2.3.1	Pengaruh Konsentrasi Tiourea	11
2.3.2	Pengaruh Konsentrasi Tiosianat	13
2.3.3	Pengaruh Konsentrasi Oksidator	14
2.4	Kinetika Pelindian	16
2.5	Agen Pengkelat	18

BAB III METODE PENELITIAN

3.1	Diagram Alir Penelitian	22
3.2	Alat dan Bahan	24
3.2.1	Alat-alat yang Digunakan	24
3.2.2	Bahan-bahan yang Digunakan	24
3.3	Prosedur Penelitian	25
3.3.1	Preparasi Sampel	25
3.3.2	Percobaan Pelindian	25
3.4	Metode Analisis	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakterisasi Bijih Emas Tanggamus	28
4.2	Pengaruh Konsentrasi Tiourea	30
4.3	Pengaruh Konsentrasi Oksidator	32
4.4	Pengaruh Agen Pengkelat	34
4.5	Kinetika Pelindian	35
4.5.1	Model Kinetika	35

4.5.2 Energi Aktivasi	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran	37
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A Contoh Perhitungan.....	40
LAMPIRAN B Data Hasil Penelitian	42
LAMPIRAN C Gambar Alat dan Bahan	45

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Laju Pelindian Emas dengan Variasi Tiosianat dan Tiourea.....	11
Tabel 2.2 <i>Grouping of Chelating Agents</i>	17
Tabel 4.1 Hasil Analisis XRF dan ICP-OES Bijih Emas Tanggamus	26
Tabel B.1 Data Persen Ekstraksi Au Variasi Tiourea	40
Tabel B.2 Data Persen Ekstraksi Cu Variasi Tiourea	40
Tabel B.3 Data Persen Ekstraksi Au Variasi Oksidator.....	41
Tabel B.4 Data Persen Ekstraksi Cu Variasi Oksidator	41
Tabel B.5 Data Persen Ekstraksi Au Variasi Asam Sitrat.....	41
Tabel B.6 Data Persen Ekstraksi Cu Variasi Asam Sitrat	42
Tabel B.7 Data Persen Ekstraksi Au Variasi Asam Asetat	42
Tabel B.8 Data Persen Ekstraksi Cu Variasi Asam Asetat	42
Tabel B.9 Koefisien Korelasi Pengendali Laju Reaksi.....	42
Tabel B.10 Hubungan $\ln K$ terhadap $1/T$	42
Tabel B.11 Perhitungan Energi Aktivasi	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Tipe Bijih Emas Berdasarkan Respon Terhadap Sianidasi.....	8
Gambar 2.2 Diagram Eh-pH Sistem Au-SCN-H ₂ O	9
Gambar 2.3 Diagram Eh-pH pada sistem Fe-SCN-H ₂ O	9
Gambar 2.4 Diagram Eh-pH Sistem SCN-H ₂ O	10
Gambar 2.5 Pengaruh Konsentrasi Tiourea terhadap Persen Ekstraksi Emas	11
Gambar 2.6 Pengaruh Temperatur Pelindian Terhadap Persen Ekstraksi	12
Gambar 2.7 Perbandingan Pelindian dengan Penggunaan Reagen Tiourea, Tiosianat, dan Kombinasi Tiourea-Tiosianat terhadap Kadar Emas yang Terlarut.....	12
Gambar 2.8 Pengaruh Konsentrasi Feri Sulfat terhadap Persen Ekstraksi Emas	15
Gambar 2.9 Model Kinetika <i>Shrinking Core Model</i>	17
Gambar 2.10 Model Kinetika <i>Shrinking Particle Model</i>	17
Gambar 2.11 Struktur Pengkelat EDTA dan Asam Sitrat	17
Gambar 2.12 Kelarutan Asam Sitrat dalam Air terhadap Temperatur	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 4.1 Hasil Analisis XRD Bijih Emas Tanggamus	29
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Konsentrasi Reagen Terhadap Persen Ekstraksi	31
Gambar 4.3 Grafik Pengaruh Konsentrasi Feri Sulfat Terhadap Persen Ekstraksi	32
Gambar 4.4 Pengaruh Konsentrasi Asam Sitrat terhadap Persen Ekstraksi	35

Gambar 4.5	Pengaruh Konsentrasi Asam Asetat terhadap Persen Ekstraksi	35
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Semua Variasi dengan Perolehan Persen Ekstraksi Au Tertinggi.....	37
Gambar 4.7	Koefisien Korelasi Difusi Film dan Difusi Lapisan Abu	38
Gambar 4.8	Koefisien Korelasi Reaksi Kimia dan Difusi Film <i>Shrinking Particle Model</i>	39
Gambar 4.9	Skematik <i>Shrinking Core Model</i> Pada Pelindian Bijih Emas Menggunakan Tiosianat dan Tiourea	41
Gambar 4.10	Grafik Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$	42
Gambar C.1	Ayakan.....	47
Gambar C.2	Corong	47
Gambar C.3	Erlenmeyer	47
Gambar C.4	Gelas Beker.....	47
Gambar C.5	Gelas Ukur	47
Gambar C.6	<i>Magnetic Stirrer</i>	47
Gambar C.7	<i>Hot Plate</i>	48
Gambar C.8	Labu Ukur	48
Gambar C.9	Kertas Saring.....	48
Gambar C.10	Termometer.....	48
Gambar C.11	<i>Oven</i>	48
Gambar C.12	pH Meter.....	48
Gambar C.13	XRF	48
Gambar C.14	XRD.....	48
Gambar C.15	ICP-OES	49
Gambar C.16	Feri Sulfat	50

Gambar C.17 Asam Sitrat.....	50
Gambar C.18 Asam Asetat.....	50
Gambar C.19 Sodium Tiosianat.....	50
Gambar C.20 Tiourea.....	50
Gambar C.21 Asam Sulfat 98%.....	50

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki cadangan emas terbesar kelima di dunia yaitu sekitar 2.600 ton Au dengan total cadangan bijih 3.565,7 juta ton. Selain itu Indonesia merupakan produsen tambang emas urutan 6 dunia (ESDM,2020). Sekitar sepertiga produksi emas dunia berupa bijih emas refraktori (Handayani dan Suratman, 2017), diantaranya adalah bijih emas yang terdapat di tambang Lengkulai, Kabupaten Tanggamus. Proses pengolahan emas yang diterapkan secara komersial adalah dengan proses sianidasi. Namun proses sianidasi ini tidak efektif dilakukan pada bijih refraktori dan secara drastis menurunkan perolehan emas hingga di bawah 50% dan konsumsi reagen yang tinggi. Limbah proses ini juga memerlukan pengolahan lebih lanjut karena memiliki toksisitas yang tinggi jika langsung dibuang ke lingkungan (Handayani dan Suratman, 2017). Oleh karena itu dilakukan berbagai penelitian mencari reagen alternatif untuk ekstraksi emas, diantaranya adalah penggunaan reagen tiosianat dan tiourea. Penambahan tiourea ke dalam larutan tiosianat terbukti memiliki efek sinergis yang memberikan keunggulan signifikan pada proses pelarutan emas (Yang et Al, 2011).

Tiosianat merupakan reagen yang ramah lingkungan dan lebih stabil dalam lingkungan asam (pH 1,0-2,0). Namun proses pelindian dengan reagen ini lebih lambat daripada sianida. Sebaliknya, penggunaan tiourea menghasilkan proses pelindian yang

lebih cepat dibandingkan sianida dan memiliki toksisitas yang jauh lebih rendah serta selektivitas pelindian yang baik. Namun tiourea mudah terdekomposisi karena adanya oksidator sehingga menyebabkan konsumsi reagen yang cukup tinggi (Li et Al, 2006). Tingginya konsumsi reagen tiourea sebagian besar terjadi karena keberadaan ion feri (Fe^{3+}). Hal ini dapat dikurangi dengan penggunaan senyawa yang dapat membentuk kompleks dengan ion feri (Kenna, 1991). Asam sitrat dan asam asetat adalah dua senyawa yang bisa digunakan sebagai agen pengkelat untuk membentuk kompleks dengan ion feri.

Oleh karena itu, dilakukan penelitian ini dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi tiourea dan konsentrasi feri sulfat sebagai oksidator, serta pengaruh penambahan asam sitrat dan asam asetat dalam pelindian menggunakan kombinasi reagen tiosianat dan tiourea terhadap perolehan persen ekstraksi emas. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui dan menemukan kondisi terbaik untuk proses ekstraksi emas yang sesuai dengan karakteristik bijih emas khususnya yang ada di Tambang Leng kukai, Kabupaten Tanggamus.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian ini, maka identifikasi masalah yang akan ditinjau antara lain:

1. Kombinasi reagen tiosianat dan tiourea memiliki reaksi sinergis yang dapat memberikan banyak keunggulan pada proses pelindian emas dibandingkan hanya dengan satu reagen. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi tiourea dan oksidator untuk mengetahui kondisi terbaik dalam

pelindian menggunakan kombinasi reagen tiosianat dan tiourea.

2. Konsumsi reagen tiourea dapat dikurangi dengan penambahan pengkelat yang dapat membentuk kompleks dengan ion feri. Sehingga degradasi oksidatif yang terjadi pada tiourea oleh ion feri dapat ditekan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi tiourea dan feri sulfat terhadap persen ekstraksi emas dalam pelindian menggunakan reagen kombinasi tiosianat dan tiourea.
2. Mengetahui pengaruh penambahan asam sitrat dan asam asetat sebagai agen pengkelat terhadap persen ekstraksi emas dalam pelindian menggunakan reagen kombinasi tiosianat dan tiourea.
3. Mengetahui model kinetika dan energi aktivasi yang dibutuhkan pada pelindian bijih emas.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan bijih emas refraktori yang berasal dari Tambang Lengkokai, Kabupaten Tanggamus, Lampung.
2. Karakterisasi sampel dan hasil dengan metode XRD, XRF, dan ICP-OES.
3. Pelindian menggunakan larutan sodium tiosianat, tiourea, dan feri sulfat

sebagai oksidator serta penambahan asam sitrat dan asam asetat sebagai agen pengkelat.

4. Variabel bebas:
 - a. Variasi konsentrasi tiourea: 0,02; 0,05; 0,1; 0,15; dan 0,2 M
 - b. Variasi konsentrasi feri sulfat: 0,001; 0,002; 0,003; 0,004; dan 0,005 M
 - c. Variasi Asam sitrat: 0,0015; 0,003; dan 0,006 M
 - d. Variasi Asam sitrat: 0,0015; 0,003; dan 0,006 M
 - e. Variasi temperatur: 35, 45, 55, 65, dan 35 °C
5. Variabel kontrol:
 - a. Kecepatan putaran : 250 rpm
 - b. Konsentrasi tiosianat : 0,05 M
 - c. Temperatur : 35°C
 - d. Waktu pelindian : 6 jam

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab. Bab I berisi tentang latar belakang dilakukannya penelitian pelindian bijih emas Tanggamus menggunakan reagen kombinasi tiosianat dan tiourea, identifikasi masalah yang merupakan dasar penelitian ini, hipotesis, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan proposal. Pada bab II menjelaskan tentang teori-teori yang mendasari penelitian ini,

meliputi penjelasan bijih emas Kabupaten Tanggamus, pemanggangan bijih, reagen pelindian, dan pelindian larutan campuran. Bab III terdiri dari metode penelitian yang disajikan dalam diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan saat penelitian, prosedur, serta metode analisis yang akan dilakukan saat penelitian. Kemudian pada bab IV berisi data hasil penelitian beserta penjelasan yang berkaitan dengan variabel penelitian. Bab V berisi kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya. Terakhir terdapat daftar pustaka, dan lampiran yang terdiri dari lampiran perhitungan, data hasil penelitian, serta alat dan bahan yang digunakan selama dilakukannya penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, C.R. et. Al. 2020. An Alternative to Cyanide Leaching of Waste Activated Carbon Ash for Gold And Silver Recovery Via Synergistic Dual-Lixiviant Treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Vol 92. 120-130. ISSN 1226-086X. doi : 10.1016/j.jiec.2020.08.031
- Adams, M.D. et. Al. 2005. *Advances In Gold Ore Processing Volume 15 Developments in Mineral Processing*. Elsevier : Amsterdam
- Azizitorghabeh, A. et al. (2021) 'A review of thiocyanate gold leaching – chemistry, thermodynamics, kinetics and processing', *Minerals Engineering*, 160, p. 106689. doi:10.1016/j.mineng.2020.106689.
- Faraji, F., Alizadeh, A., Rashchi, F. and Mostoufi, N. (2020). Kinetics of leaching: a review. *Reviews in Chemical Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1515/revce-2019-0073>.
- Gavin Hilson, A.J. Monhemius, 2006. Alternatives to Cyanide in the Gold Mining Industry: What Prospects for The Future?. *Journal of Cleaner Production*. Vol 14, Issues 12–13. Pages 1158-1167. ISSN 0959-6526. doi : 10.1016/j.jclepro.2004.09.005.
- Handayani, S., & Suratman, S. 2017. Teknologi Alternatif Pengolahan Bijih Emas Refraktori. *Biooksidasi*. 13 (3) 198-211. doi : 10.30556/jtmb.Vol13.No3.2017.191
- Habashi, Fathi. 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy : Volume I : The Metal Industry Ferrous Metals*. Wiley-Vch, Weinheim

- Kenna, C., 1991. Extraction and Recovery of Gold. US Pat. 5,260,040
- Kholmogorov, A.G. et al. (2002) ‘Thiocyanate Solutions in Gold Technology’, *Hydrometallurgy*, 64(1), pp. 43–48. doi:10.1016/s0304-386x(02)00005-1.
- Kirimura, K. and Yoshioka, I. (2019) ‘Citric acid’, *Comprehensive Biotechnology*, pp. 158–165. doi:10.1016/b978-0-444-64046-8.00157-9.
- Li, J., Miller, J.D., 2006. A review of gold leaching in acid thiourea solutions. *Minerals Process. Extr. Metall. Rev.* 27, 177-214 doi: 10.1080/08827500500339315
- Li, J., Miller, J.D., 2007. Reaction kinetics of gold dissolution in acid thiourea solution using ferric sulfate as oxidant. *Hydrometallurgy* 89, 279-288 doi : 10.1016/j.hydromet.2007.07.015
- Meriatna, M. and Lestari, R. (2019) ‘Pembuatan Asam ASETAT dari air Cucian Kopi robusta Dan Arabika dengan proses Fermentasi’, *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 7(1), p. 61. doi:10.29103/jtku.v7i1.1169.
- Mufakhir, F.R. et Al. (2018). Characterization of Gold Ore From Tanggamus Mine Lampung Province. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 478(1). doi: 10.1088/1757-899X/478/1/012018
- Mufakhir, F.R. et al. (2019) ‘Pelarutan Emas Pada Pelindian Konsentrat Emas Hasil roasting Menggunakan Reagen Tiosianat’, *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(1), p. 24. doi:10.22146/jrekpros.41519.
- Pimenta, E., Calhoun, D.A. and Oparil, S. (2010) ‘Hypertensive emergencies’, *Cardiac Intensive Care*, pp. 355–367. doi:10.1016/b978-1-4160-3773-6.10028-x.
- S.D. Pravasi (2014). Acetic Acid. pp.33–35. doi:https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386454-3.00216-5.

- Smith, J. (1991) *Food Additive User's handbook*. London: Blackie Academic & Professional.
- Sun, X. et al. (2009) 'Technological conditions and kinetics of leaching copper from complex copper oxide ore', *Journal of Central South University of Technology*, 16(6), pp. 936–941. doi:10.1007/s11771-009-0156-6.
- The Royal Australian Chemical Institute Inc. (2019) Crabby Chemicals, *Chemistry in Australia* magazine. Available at: <https://chemaust.raci.org.au/article/septemberoctober-2019/crabby-chemicals.html> (Diakses: 3 Juni 2023).
- Van Deventer, J.S.J. et al. (1990) 'Galvanic interactions during the dissolution of gold in cyanide and thiourea solutions', *Minerals Engineering*, 3(6), pp. 589–597. doi:10.1016/0892-6875(90)90003-t.
- Yang, X., Moats, M.S., Miller, J.D., 2010a. The Interaction Of Thiourea And Formamidine Disulfide In The Dissolution Of Gold In Sulfuric Acid Solutions. *Minerals Engineering*. 23, 698-704 doi : 10.1016/j.mineng.2010.04.006
- Yang, X., Moats, M.S., Miller, J.D., 2010b. Gold Dissolution In Acidic Thiourea And Thiocyanate Solutions. *Electrochimica Acta* 55 (11), 3643-3649. doi: 10.1016/j.electacta.2010.01.105
- Zhang, J. et Al. (2014). Hydrometallurgy Dual Lixiviant Leaching Process For Extraction and Recovery of Gold From Ores at Room Temperature. *Hydrometallurgy*. Elsevier B.V., 144–145, doi: 10.1016/j.hydromet.2014.02.001.