

PEMUNGUTAN URANIUM DAN NIKEL DARI AIR LIMBAH MENGGUNAKAN METODE FLOTASI

Ign. Djoko Sardjono, Prayitno, Herry Poernomo dan Wasim Yuwono

P3TM – BATAN

ABSTRAK

PEMUNGUTAN URANIUM DAN NIKEL FROM WASTE WATER USING FLOTATION METHODS. Telah dilakukan eksperimen pemungutan kembali logam uranium dan nikel dari air limbah menggunakan metode flotasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan dari metode flotasi untuk memungut kembali unsur uranium dan nikel yang ada dalam air limbah. Keberhasilan dalam memungut kembali unsur/radionuklida U dan Ni dalam air limbah juga berpotensi untuk menghilangkan kadar pencemar dari air limbah ke lingkungan. Kemampuan rekoveri U dan Ni memakai metode flotasi dikaji secara eksperimental dengan mengamati parameter proses yang berpengaruh dalam rekoveri kadar U dan Ni dalam air limbah sebagai umpan dalam proses flotasi setelah dipreparasi melalui tahapan kopresipitasi. Parameter yang diamati dalam proses flotasi meliputi pengaruh pH air limbah dan volume bahan kolektor $Mg(OH)_2$ yang ditambahkan ke dalam air limbah yang diolah sehingga menghasilkan presentase rekoveri U dan Ni (R_U dan R_{Ni} dalam %) tertinggi. Percobaan dilakukan dengan umpan limbah simulasi uranium tetap = 100 ppm dan volume kolektor 100 ppm $Mg(OH)_2$ yang ditambahkan divariasi dari 10-50 ml dengan parameter pH tetap = 4, kemudian flotasi dikerjakan dalam waktu 2 menit dan cuplikan dari hasil flotasi dianalisis dengan spektrofotometer Spectronic -20 untuk memperhitungkan hasil rekoveri uraniumnya (R_U dalam %). Dari hasil percobaan diperoleh data bahwa nilai R_U bertambah dengan bertambahnya volume $Mg(OH)_2$ yang ditambahkan dan mencapai R_U maksimum = 95,30% pada penambahan 20 ml $Mg(OH)_2$. Kenaikan pH larutan umpan limbah U dari 4 ke 6 sampai dengan pH=12 juga menaikkan nilai R_U dari 95,3% sampai dengan 99% dan mencapai R_U maksimum = 99,20% pada pH=10. Sedangkan untuk adanya kenaikan nilai R_{Ni} dengan kenaikan volume $Mg(OH)_2$ yang ditambahkan dan mencapai R_{Ni} maksimum = 95,22 % pada penambahan 40 ml $Mg(OH)_2$ dengan pH tetap=6. Kenaikan pH larutan umpan limbah Ni dari 6 sampai dengan pH=12 juga menaikkan nilai R_{Ni} dari 97,2% sampai dengan 99,85 % dan mencapai R_{Ni} maksimum = 99,90% pada pH=10. Dari hasil penelitian eksperimental dapat disimpulkan bahwa rekoveri U dan Ni bertambah dengan bertambahnya volume kolektor $Mg(OH)_2$ dan dengan kenaikan nilai pH larutan limbahnya dan mencapai rekoveri maksimum untuk U (R_U) = 99,2 % dan Ni (R_{Ni}) = 99,85% pada pH=10. Dari aspek keselamatan lingkungan sesuai SK.Gubernur DIY tahun 1991 dan KTD U dan Ni dalam air, residu U dan Ni yang ada dalam air limbah sudah cukup aman.

ABSTRACT

RECOVERY OF URANIUM AND NICKEL FROM WASTE WATER USING FLOTATION METHODS. Recovery of uranium and nickel from the waste water was experimentally investigated by using the flotation methods. This investigation aims at determining the effectiveness of flotation methods in recovering U and Ni elements from the waste water. The succeed of recovering U and Ni elements from the waste water is also potential for removing the pollutants concentration from the waste water to the environment. The ability of recovering U and Ni using the flotation methods was experimentally investigated by observing the influencing process's parameters in the recovery of U and Ni concentration in the waste water as a feed in the flotation process after being prepared by coprecipitation step. The observed parameters in the flotation process covered pH of the waste water and volume of collector materials of $Mg(OH)_2$ added to the treated waste water so the recovery's percentage of U (R_U) and Ni (R_{Ni}) resulted was maximum. The experiment was performed with the constant feed of uranium simulated waste = 100 ppm and the volume of 100 ppm $Mg(OH)_2$ added was varied from 10 – 50 ml with the constant pH parameter = 4, then the flotation was performed for 2 minutes and the samples of the flotation results were analyzed using spectrophotometer of Spectronic-20 for calculating the

uranium recovery (R_U in %). From the experimental results was obtained the data that R_U increases with the increasing the volume of $Mg(OH)_2$ added and reaches the maximum $R_U=95.3\%$ at the addition of 20 ml $Mg(OH)_2$. The increasing of Ni waste feed solution pH from 6 to pH=12 also increases R_{Ni} value from 97.2% to 99.85 % and reaches maximum $R_{Ni}= 99.85\%$ at pH=10. From the experimental investigation result can be concluded that recovery of U and Ni increased by the increasing of collector volume of $Mg(OH)_2$ and by the increasing of waste solution pH value and reached maximum recovery for U (R_U) = 99.2 % and Ni (R_{Ni})= 99.85 at pH=10 . From the environmental safety aspect based on the decree of governor of DIY 1991 and MPC of U and Ni in water, the residual U and Ni in the wastewater treated is sufficiently safe.

PENDAHULUAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi keefektifan metode flotasi untuk pengolahan air limbah yang mengandung logam berat (Ni) yang merepresentasikan hasil korosi dari bahan struktur dalam limbah nuklir serta U yang merepresentasikan zat radioaktif. IGN.DJOKO SARDJONO dkk. [1] dalam penelitian sebelumnya telah memperoleh data keefektifan metode flotasi untuk mengolah air limbah simulasi yang mengandung 100 ppm U dan Fe dengan hasil rekovery U (R_U) maksimum=97,2% dan Fe (R_{Fe}) maksimum=94,8%. YOSHIO KOYANAKA [2] dalam Studies on the treatment of Radioactive Liquid Wastes by Flotation Method, JAERI, March 1967, memperkenalkan dua mekanisme terjadinya peristiwa flotasi: pertama ialah peran dari gelembung terhadap unsur –unsur metalik radioaktif terlarut dalam air limbah yang jumlahnya relatif kecil yang dipengaruhi oleh sifat fisiko – kimia dari antar fase cair dan gas, dan kedua ialah yang dipengaruhi oleh sifat fisiko – kimia dari antar fase padat-cair-gas.

Sedangkan menurut DONALD W.SUNDSTROM & HERBERT E.KLEI [3] , ROBERT H.PERRY AND DON W.GREEN [4] untuk flotasi merupakan prosedur pemisahan padat-cair atau cair-cair yang diterapkan pada partikel yang densitasnya lebih rendah daripada densitas cairan dimana partikel tersebut berada yang diklasifikasikan sebagai flotasi alami/ natural bila selisih densitas sangat cukup untuk pemisahan, flotasi *Aided* terjadi bila digunakan sarana eksternal digunakan untuk mempromosikan pemisahan partikel yang secara alami bisa mengalami flotasi dan flotasi secara induksi terjadi bila densitas dari partikel aslinya lebih tinggi daripada densitas cairan dan secara artifisial dibuat lebih rendah. Hal ini didasarkan pada kapasitas padatan dan partikel cairan untuk bergabung dengan gas(biasanya udara).

Metode pemisahan buih unsur –unsur metalik radioaktif yang terlarut dalam air limbah yang jumlahnya relatif kecil mekanismenya didominasi oleh peran dari gelembung dan sifat fisika – kimia dari antar fase cair dan gas. Metode ini terutama digunakan untuk ion-ion metalik yang mudah membentuk senyawa kompleks dengan aktivator permukaan. Untuk aktivator permukaan menurut RICHARD P.H., AMIR E., TUKARDI, SRI SUDARYANTO [5] dan [Http : // www.exploratorium.edu/ronh/bubbles/soap.html](http://www.exploratorium.edu/ronh/bubbles/soap.html) [6] bisa dipakai senyawa organik yang mempunyai sifat heteropolar misalnya natrium oleat dan tetra etilen glikol Gugus polar yang suka air menempel pada senyawa polar misalnya air dan gugus non polar yang nantinya bisa menempel pada gelembung udara atau buih yang terbentuk pada proses flotasi sehingga mengapungkan partikel padat dari unsur logam pengotor yang ada dalam air limbah.

Metode ini telah dibuktikan keberhasilannya dalam merecovery/memungut kembali unsur-unsur radioaktif seperti Cs-137, Sr-90 , Ce-144 dan Ra-226 serta molibdenit (MoS_2) dari air limbah pabrik uranium. Berdasarkan pernyataan di atas dicoba untuk diterapkan metode ini untuk mereduksi kadar besi (Ni) dan uranium (U) dalam air limbah dengan menggunakan natrium oleat sebagai kolektor yang berfungsi sebagai bahan aktif permukaan dan poli propilen glikol sebagai frother yang berfungsi sebagai bahan penurun tegangan muka air dan penstabil gelembung yang berperan dalam proses flotasi setelah melewati tahap kopresipitasi dengan menggunakan $Mg(OH)_2$ sebagai kolektor. Diharapkan dengan metode ini bisa meningkatkan keefektifan pengolahan limbah yang mengandung nikel dan uranium serta memenuhi batas konsentrasi tertinggi dalam air yang diijinkan sesuai ketentuan perundangan yang berlaku tentang baku mutu air limbah

dalam SK Gubernur DIY dan nilai KTD dalam CHOPPIN dan RYDBERG [7].

TATA KERJA

Bahan

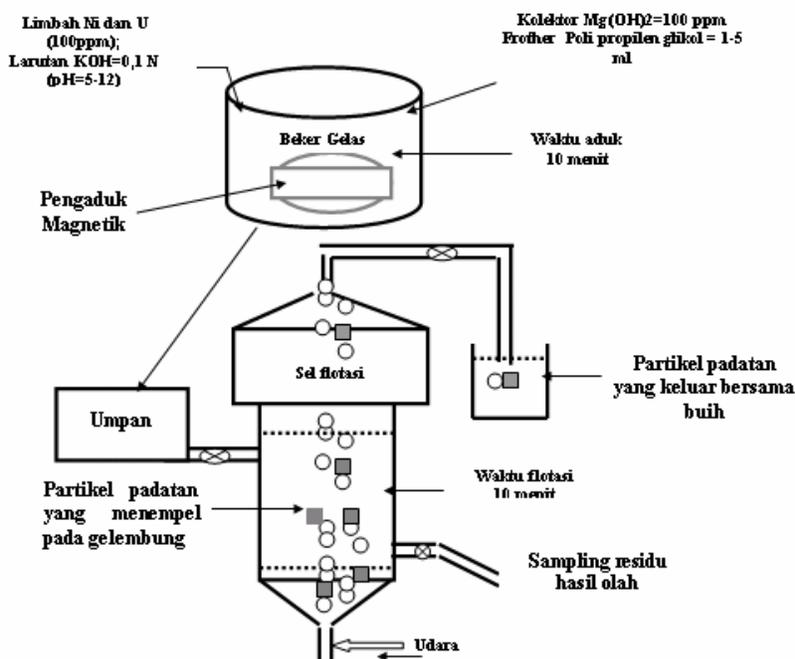
Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi limbah simulasi uranium (U) dan nikel (Ni) dari larutan $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ni}(\text{Cl})_2$ dengan kadar masing-masing 100 ppm yang diperuntukkan untuk umpan dalam proses flotasi. Bahan kolektor $\text{Mg}(\text{OH})_2$ dengan kadar 100 ppm yang volumenya divariasi dari 10,20,30,40 dan 50 ml yang difungsikan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil rekovery U dan Ni dalam proses flotasi. Larutan 1 N KOH yang difungsikan untuk pengaturan pH larutan campuran limbah simulasi dari 5 –12 yang selanjutnya dipakai untuk menentukan kondisi pH optimum yang menghasilkan rekovery U dan Ni masing-masing yang maksimum. Larutan poli propilen glikol (PPG) yang rumus kimianya

$\text{H}[\text{OCH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2]_n\text{OH} = 1-5$ ml yang berfungsi sebagai frother/bahan penstabil buih dalam proses flotasi.

Peralatan

Peralatan proses meliputi beker gelas berkapasitas 250 ml yang dilengkapi pengaduk magnet berdiameter 5 cm yang ditempatkan dalam alat pengaduk motorik yang difungsikan untuk menyiapkan umpan larutan campuran limbah simulasi U dan Ni .

Larutan umpan tersebut setelah diaduk selama 10 menit dan ditambah 5 ml frother PPG kemudian dimasukkan ke sel flotasi untuk proses flotasi selama 2 menit dengan sebuah aerator yang dihembuskan lewat pipa masukkan udara dibagian bawah sel flotasi. Skema peralatan proses dapat digambarkan dalam Gambar 1. Hasil dari proses flotasi dianalisis dengan mengambil cuplikan larutan hasil flotasi untuk dianalisis menggunakan Spectronic-20.



Gambar 1. Skema Percobaan Flotasi

Cara kerja:

1. Siapkan larutan garam uranium (UO_2^{2+}) dengan kadar 100 ppm sebanyak 100 ml. sebagai umpan air limbah simulasi yang mengandung U, kemudian masukkan umpan tersebut ke dalam gelas beker 250 ml.
2. Ke dalam limbah tersebut ditambahkan kolektor larutan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ dengan kadar 100

ppm sebanyak 20 ml, kemudian tambahkan 10 ml. 0,1 N KOH dan di aduk cepat selama 10 menit.

3. Setelah ada indikasi terjadinya pengendapan U dalam bentuk UO_2^{2+} , kemudian di tambah 5 ml frother poli propilen glikol untuk selanjutnya dimasukkan ke dalam unit sel flotasi dan diairasi selama 2 menit.

4. Setelah proses flotasi selesai, diambil 10 ml cuplikan limbah untuk dianalisis kadar U sisa yang ada dalam larutan. Dari data kadar U sisa dan kadar U awal dihitung hasil rekovery U dalam % berdasar korelasi $R = (1 - \frac{T.t}{F.f}) \times 100\%$ dengan R =hasil rekovery, f =kadar umpan dalam air limbah awal/sebelum diflotasi, F =volume air limbah awal, t =kadar U atau Ni setelah proses flotasi dan T =volume residu air limbah setelah proses flotasi.
5. Langkah yang sama dengan percobaan nomer urut 1 sampai dengan 4 diterapkan pada percobaan lanjut untuk variasi jumlah kolektor dari 10-50 ml dengan pH tetap=4 dan jumlah frother tetap =5 ml.
6. Langkah yang sama dengan percobaan nomer urut 1 sampai dengan 4 diterapkan pada percobaan lanjut untuk variasi pH dari 5-12 dengan parameter jumlah kolektor tetap 20 ml dan frother tetap 5 ml.
7. Langkah yang sama dengan percobaan nomer urut 1 sampai dengan 6 diterapkan pada percobaan lanjut untuk rekovery unsur Ni yang ada dalam air limbah dengan parameter dan variabel yang berbeda dengan kondisi yang diterapkan untuk rekovery U dalam air limbah, khususnya untuk variasi pH untuk air limbah yang mengandung Ni yakni dari pH= 6-12.

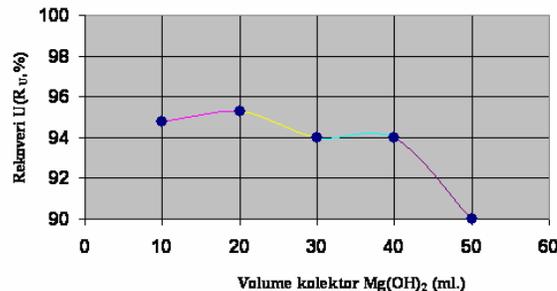
HASIL DAN PEMBAHASAN

Keberhasilan proses flotasi dievaluasi dari data hasil penelitian berikut dengan mengkorelasikan

antara parameter penentu nilai rekovery dari unsur U dan Ni yang ada dalam air limbah yakni jumlah volume kolektor yang ditambahkan terhadap nilai rekovery U dan Ni yang dapat dicermati dalam Gambar 2 sampai dengan Gambar 5. berikut :

1. Korelasi kenaikan jumlah kolektor untuk air limbah yang mengandung U

Data percobaan flotasi dengan memvariasikan jumlah kolektor Mg^{2+} berkadar 100 ppm dari 10-50 ml untuk air limbah simulasi yang mengandung uranium berkadar awal 100 ppm dapat dilihat dalam Gambar 2. Dari data tersebut terlihat bahwa ada kecenderungan naiknya recovery U (R_U) dengan bertambahnya volume kolektor Mg^{2+} dari 10-20 ml dan mencapai nilai (R_U) maksimum= 95,3% . Kemudian pada penambahan volume kolektor Mg^{2+} sebanyak 30-50 ml R_U menurun sampai dengan 90,3 % . Hal ini bisa terjadi karena ikatan yang terjadi antara gelembung udara dan partikel endapan adalah ikatan fisik antara gugus non-polar yang ada dalam partikel endapan dengan udara dan dibatasi oleh kestabilan gelembung udara dalam larutan yang cukup stabil sampai dengan penambahan volume kolektor sebanyak 20 ml. Selibuhnya justru akan memicu terjadinya dispersi gelembung udara secara berlebihan tanpa berinteraksi dengan unsur U yang akan memungkinkan terjadinya ikatan antara gelembung dengan unsur U dalam partikel endapan sehingga R_U menurun.



Gambar 2. Kurva volume kolektor versus rekovery U (R_U , %)

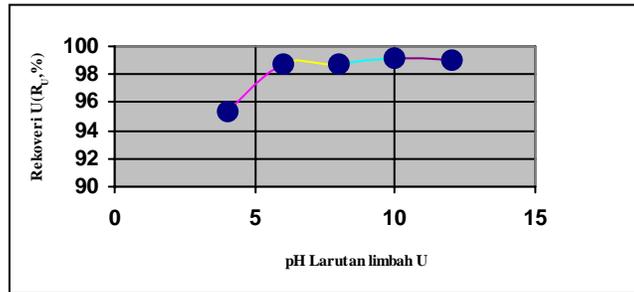
2. Korelasi kenaikan nilai pH larutan limbah dan rekovery U (R_U , %)

Data percobaan flotasi dengan memvariasikan nilai pH larutan limbah yang mengandung 100 ppm U dari pH=4 –

12 dengan volume kolektor Mg^{2+} yang tetap=40 ml (yakni volume kolektor yang optimum menghasilkan R_U yang maksimum pada hasil dan pembahasan 1) dan volume frother PPG yang tetap=5 ml. dapat dilihat

pada Gambar 3. Dalam Gambar 3. terlihat kecenderungan naiknya recovery U (R_U) dari $R_U=95,3\%$ dengan kenaikan nilai pH dari pH=4 -10 dengan nilai maksimum-nya $R_U=99,2\%$ pada pH=10, meskipun setelah pH sekitar 12 terjadi sedikit penurunan sampai dengan $R_U=99\%$. Hal ini bisa terjadi karena kenaikan pH larutan bisa menaikkan jumlah gugus non-polar dari

partikel endapan yang ada dalam larutan limbah sehingga ikatan fisik antara gugus limbah sehingga ikatan fisik antara gugus non-polar yang ada dalam partikel endapan dengan gelembung udara meningkat sehingga nilai R_U naik tetapi dengan naiknya pH=12 jumlah partikel endapan yang berinteraksi dengan gelembung udara cukup banyak dan sebagian gelembung udara yang tertumbuk akan pecah sehingga R_U menurun.

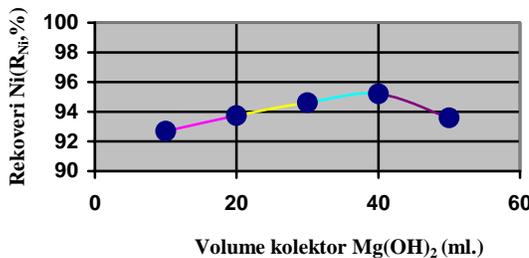


Gambar 3. Kurva nilai pH versus rekoveri U (R_U , %)

3. Korelasi kenaikan jumlah kolektor untuk air limbah yang mengandung Ni

Data percobaan flotasi dengan memvariasikan jumlah kolektor kolektor Mg^{2+} berkadar 100 ppm dari 10-50 ml untuk air limbah simulasi yang mengandung nikel (Ni) berkadar awal 100 ppm dapat dilihat dalam Gambar 4. Dari data tersebut terlihat bahwa ada kecenderungan naiknya recovery Ni (R_{Ni}) dengan bertambahnya volume kolektor Mg^{2+} dari 10-40 ml dan mencapai nilai R_{Ni} maksimum= 95,22%. Kemudian pada penambahan volume kolektor Mg^{2+} sebanyak 50 ml R_{Ni} menurun sampai dengan 93,58%. Hal ini serupa dengan yang terjadi pada air limbah yang mengandung U bahwa bisa terjadi karena ikatan yang terjadi antara gelembung udara dan partikel endapan yang mengandung Ni dan ikatan yang dominan adalah ikatan fisik antara gugus non-polar yang ada dalam partikel endapan yang mengandung Ni dengan

gelembung udara dan dibatasi oleh kestabilan gelembung udara dalam larutan yang cukup stabil sampai dengan penambahan volume kolektor sebanyak 40 ml. Dibandingkan dengan air limbah yang mengandung U ternyata untuk menghasilkan nilai rekoveri yang hampir sama (sekitar 95%) unsur Ni membutuhkan jumlah kolektor yang lebih. Hal ini dimungkinkan karena nomor massa Ni yang lebih kecil dari pada nomor massa U, sehingga untuk mendapatkan efek tumbukan antara partikel endapan Ni dengan gelembung udara dibutuhkan volume kolektor yang lebih banyak dari pada partikel endapan U dengan gelembung udara. Selibuhnya justru akan memicu terjadinya dispersi gelembung udara secara berlebihan tanpa berinteraksi dengan unsur Ni yang akan memungkinkan terjadinya ikatan antara gelembung dengan unsur Ni dalam partikel endapan sehingga R_{Ni} menurun.

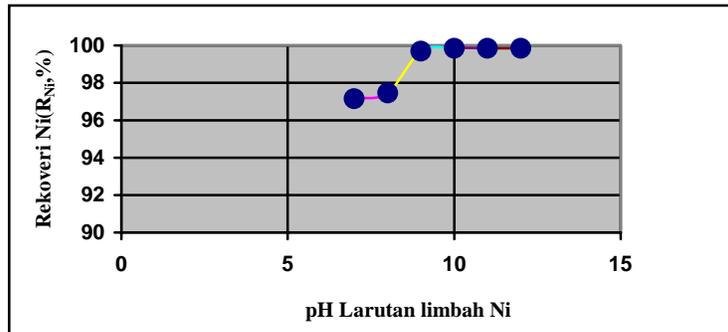


Gambar 4. Kurva volume kolektor versus rekoveri Ni (R_{Ni} , %)

4. Korelasi kenaikan nilai pH larutan limbah dan recovery Ni, R_{Ni} (%)

Data percobaan flotasi dengan memvariasikan nilai pH larutan limbah dari pH=7 –12 dengan kolektor Mg^{2+} berkadar 100 ppm untuk air limbah simulasi yang mengandung nikel (Ni) berkadar 100 ppm dapat dilihat dalam Gambar 5. Data dalam Gambar 5. memperlihatkan kecenderungan naiknya rekoverti Ni (R_{Ni}) dengan kenaikan nilai pH dengan nilai maksimumnya R_{Ni} =99,85% pada pH=10-12. Berbeda dengan air limbah yang mengandung U ternyata

rekoverti Ni (R_{Ni}) relatif naik dari pH=7-12 dan relatif stabil mulai pH=10. Hal ini bisa terjadi karena kenaikan nilai pH larutan air limbah yang mengandung Ni tidak memberikan efek negatif terhadap ikatan non-polar antara kenaikan jumlah partikel endapan yang mengandung Ni dibandingkan dengan ikatan ikatan non-polar antara kenaikan jumlah partikel endapan yang mengandung U dengan gelembung udara, sehingga nilai R_{Ni} relatif stabil dari pada R_U pada pH tinggi.



Gambar 5. Kurva pH larutan limbah Ni versus rekoverti nikel, R_{Ni} (%)

KESIMPULAN

Dari data yang diperoleh pada percobaan yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil rekoverti U (R_U) dalam air limbah dengan proses flotasi naik dengan bertambahnya volume kolektor 100 ppm Mg^{2+} dan naiknya nilai pH larutan; mencapai maksimum pada penambahan 20 ml kolektor dan pada pH=10 mencapai (R_U) maksimum = 99,2%
2. Hasil rekoverti Ni (R_{Ni}) dalam air limbah dengan proses flotasi naik dengan bertambahnya volume kolektor 100 ppm Mg^{2+} dan naiknya nilai pH larutan; mencapai maksimum pada penambahan 40 ml kolektor dan pada pH=10-12 mencapai R_{Ni} maksimumnya = 99,85%
3. Perbedaan hasil R_U dan R_{Ni} tidak signifikan, tetapi untuk mencapai hasil rekoverti yang sama Ni lebih membutuhkan jumlah kolektor yang lebih banyak dari pada U.
4. Bila ditinjau dari Baku Mutu Air Limbah sesuai SK.Gub DIY No.214/KPTS/1991 dan ketentuan konsentrasi tertinggi yang diijinkan dalam air (KTDa) dalam CHOPPIN dan RYDBERG [7] proses flotasi mampu menghilangkan potensi cemaran Ni

dan U dalam air limbah sebesar 99,85% dan 99,2%, sehingga residu Ni dan U yang ada dalam air limbah tinggal 0,15 ppm dan 0,8 ppm yang relatif lebih aman dari aspek kesehatan lingkungan karena menurut Baku Mutu air limbah kadar tertinggi untuk Ni = 0,5 ppm dan untuk konsentrasi U yang diperbolehkan ada dalam air (KTD_{Ua}) = 18 ppm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini bisa terwujud berkat kerja keras dan bantuan dari Sdr. Tri Suyatno selaku Staf Pranata Nuklir di Subid. Pengelolaan Limbah dan Keselamatan Lingkungan, Bidang Keselamatan dan Kesehatan, dan Sdr. Isa Anshori, Staf dari Balai Elektro Mekanik. Untuk semua yang telah membantu terealisirnya penelitian dan terwujudnya makalah ini kami mengucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

1. IGN.DJOKO SARDJONO, HERRY POERNOMO, PRAYITNO & WASIM YUWONO, "Kajian keefektipan metode flotasi untuk mereduksi Unsur Fe dan U yang ada dalam air limbah," Prosiding PPI-P3TM, Yogyakarta (2004) 147-158.

2. YOSHIO KOYANAKA „Studies on the Treatment of Radioactive Liquid Wastes by Flotation Method, JAERI, March (1967).
3. DONALD W.SUNDSTROM & HERBERT E.KLEI „Wastewater Treatment, McGraw-Hill Book Co.,(1979).
4. ROBERT H.PERRY and DON W.GREEN, Perry’s Chemical Engineers, Handbook, Seventh Edition, MC Graw Hill Companies, Inc., (1997).
5. RICHARD P.H., AMIR E., TUKARDI, SRI SUDARYANTO, “ Pemisahan Molibdenit Dari Bijih Uranium Rirang Secara Flotasi “, Prosiding Seminar Pranata Nuklir dan Litkayasa, PPBGN-BATAN, Jakarta, (1998)1-12.
6. Http : // www.exploratorium.edu/ronh/bubbles/soap.html
7. CHOPPIN, G.R. AND RYDBERG, J. , “Nuclear Chemistry”, Theory and Application, First Edition, Pergamon Press, Toronto, (1980) 353.

TANYA JAWAB

Abdul Latief

- *Dari tata kerja terlihat bahwa idealnya U & Ni tercampur, tapi dari hasil penelitian faktor R_{Ni} & R_U terpisah. Bagaimana faktor pemisahan Ni & U dalam 1 sistem?*
- *Gelembung udara tidak divariasasi, padahal secara teori gelembung udara semakin kecil dan banyak, luas permukaan gelembung*

semakin besar sehingga kemampuan gelembung mengikat Ni/U semakin besar. Bagaimana pendapat Bapak?

Ign. Djoko Sardjono

- Secara riil di lapangan memang Ni dan U tercampur, tetapi untuk mengkaji parameter proses yang dominan mempengaruhi recovery Ni dan U (R_{Ni} & R_U) secara terpisah, baru diteruskan dengan kondisi Ni dan U tercampur dengan dasar pengaruh proses terpisah.
- Saya setuju dengan pendapat Bapak, sebagai tambahan bahwa gelembung yang relatif kecil diantaranya stabilitasnya relatif besar sehingga berperan dalam menentukan hasil recovery Ni & U yang ada dalam air limbah.

Djarot S. Wisnubroto

- *Adanya U & Ni di dalam limbah dari mana asalnya?*

Ign. Djoko Sardjono

- Air limbah yang mengandung U & Ni berasal dari kegiatan Litbang Proses olah ulang meskipun secara riilnya di negara Indonesia yang menganut kebijakan daur terbuka, kegiatan ini dibatasi hanya pada skala lab. Demikian juga apa yang kami lakukan hanya proses flotasi dengan skala lab.