

DESORPSI ION Fe^{2+} , Cr^{3+} , DAN Zn^{2+} DALAM KONSENTRAT ZIRKON PRODUK LOKAL DENGAN HNO_3 , HCl , $HNO_3 + HCl$ DAN H_2O

DESORPTION OF Fe^{2+} , Cr^{3+} , AND Zn^{2+} ION IN ZIRCON CONCENTRATES HOME MADE WITH HNO_3 , HCl , $HNO_3 + HCl$ DAN H_2O

Muzakky, Supriyanto C

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta 55281

email : muzakky36@gmail.com

Diterima 1 Oktober 2015, diterima dalam bentuk perbaikan 30 Desember 2015, disetujui 12 Januari 2016

ABSTRAK

DESORPSI ION Fe^{2+} , Cr^{3+} , DAN Zn^{2+} DALAM KONSENTRAT ZIRKON PRODUK LOKAL DENGAN HNO_3 , HCl , $HNO_3 + HCl$ DAN H_2O . Telah dilakukan studi tentang desorpsi ion dan kinetika ion Fe^{2+} , Cr^{3+} , dan Zn^{2+} dalam ionsekat zirkon dengan HNO_3 , HCl , $HNO_3 + HCl$ dan H_2O . Tujuan dari penelitian ini (1) mendapatkan data persentase desorpsi, profil desorpsi dan kinetika desorpsi Fe^{2+} , Cr^{3+} dan Zn^{2+} kedalam HNO_3 , HCl , $HNO_3 + HCl$ dan H_2O . Selanjutnya ke (2) penelitian ini akan memprediksi kecepatan kinetika desorpsi (k_{des}). Penelitian desorpsi dan kinetika desorpsi dilakukan dengan teflon bom digester dengan variasi waktu kontak. Hasil persen desorpsi, laju desorpsi dan konstante kinetika ternyata pelarut HCl terbaik untuk ion Zn^{2+} dengan harga k_{des} $6,61 \cdot 10^{-3}$ menit⁻¹. Selanjutnya harga k_{des} pada pelarut HCl berturut-turut ion $Zn^{2+} > Fe^{2+} > Cr^{3+}$. Sementara untuk pelarut HNO_3 harga k_{des} terbaik pada ion Fe^{2+} dengan $6,1 \cdot 10^{-3}$ menit⁻¹, dengan urutan $Fe^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+}$. Ternyata pada campuran HNO_3 dan HCl mirip dengan pelarut HNO_3 dan harga ion Cr^{3+} dengan $3,8 \cdot 10^{-3}$ menit⁻¹. Sementara untuk pelarut H_2O teramatinya hanya Fe^{2+} mempunyai harga paling tinggi yaitu sebesar $1,04 \cdot 10^{-3}$ menit⁻¹.

Kata kunci : desorpsi, konsentrat zirkon, % desorpsi, konstante desorpsi (k_{des})

ABSTRACT

DESORPTION OF Fe^{2+} , Cr^{3+} , and Zn^{2+} ION IN ZIRCON CONCENTRATES HOME MADE WITH HNO_3 , HCl , $HNO_3 + HCl$ AND H_2O . The study of the desorption of Fe^{2+} , Cr^{3+} , and Zn^{2+} ions in zircon concentrate with HNO_3 , HCl , $HNO_3 + HCl$ and H_2O has been conducted. The purpose of this study (1) to obtain that % of desorption, desorption profile and desorption constant of Fe^{2+} , Cr^{3+} , and Zn^{2+} into HNO_3 , HCl , $HNO_3 + HCl$ and H_2O . Subsequently to (2) of this study would predict the speed of desorption constant (k_{des}). The research of desorption and constant of desorption were conducted with teflon bomb digester with a variation of contact time. Results of % desorption, desorption rate and desorption constant turns HCl best solvent for the Zn^{2+} ion was obtained that the value of k_{des} $6.61 \cdot 10^{-3}$ minutes⁻¹, with a value of k_{des} on successive ion, i.e $Zn^{2+} > Fe^{2+} > Cr^{3+}$. On the using of HNO_3 solvent the highest of k_{des} was obtained on Fe^{2+} ions at value of k_{des} $6.1 \cdot 10^{-3}$ min⁻¹, with the order of $Fe^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+}$. At the using mixture of $HNO_3 + HCl$ was obtained that a value of k_{des} were similar to solvent of HNO_3 with value of k_{des} to $3.8 \cdot 10^{-3}$ min⁻¹. While for the solvent H_2O seems only Fe^{2+} which has the highest value of desorption konstant (k_{des}) $1.04 \cdot 10^{-3}$ min⁻¹.

Keywords : desorption, zircon concentrate, % adsorption, desorption constan (k_{des})

PENDAHULUAN

Produk unggulan PSTA-BATAN salah satunya zirkonium opasifier yang merupakan hasil penelitian sejak tahun 2013-2014 dalam kegiatan konsorsium riset Sistem Inovasi Nasional (SINas) yang melibatkan BATAN (PTAPB dan PTBIN), BPPT (PTM), Universitas (UGM dan UI), PT. Aneka Tambang (PT. Antam, Tbk). Sedangkan zirkonium opasifier sendiri merupakan produk dari mineral zirkon yang telah bebas dari radiasi alam berupa partikel alfa yang dikeluarkan oleh U-238 dan Th-232 (<50 ppm)⁽¹⁾. Mineral Crude zirkon dari Landak, Kalimantan Barat hasil benefisasi dengan spiral chute ternyata mengandung oksida logam seperti Fe_2O_3 sebesar

10,11%, Cr₃O₃ 1,04% dan ZnO 0,0161% disamping oksida logam yang lain⁽²⁾. Ternyata ketiga oksida tersebut terikat kuat bersama-sama U, Th dan Cr³⁺ didalam zirkon membentuk Crystalline yang kompak⁽³⁾. Beberapa peneliti telah membuat zirkonium opasifier melalui beberapa proses pencucian asam, campuran asam hingga air^(4,5). Akibat proses pencucian tersebut U dan Th dalam kristal zirkon akan masuk kedalam fase cair bersama ketiga oksida logam diatas⁽⁶⁾. Menurut Schmidt⁽⁷⁾ U dan Th serta pengotor oksida lain dalam pasir sikon dapat dihilangkan dengan pelarut H₂O + HCl. Selanjutnya menurut Tromans⁽⁸⁾ metemit zirkon (U,Th dan oksida logam) dapat dihilangkan dengan H₂O + HCl pada pH ~5,4 dan dipanaskan pada suhu maksimum 150 °C. Kemudian Haifler⁽⁹⁾ telah mempelajari pelepasan pengotor oksida logam dari mineral Zirconolite (CaZrTi₂O₇) dengan air dan campuran asam. Maka pada tujuan penelitian ini melakukan desorpsi pada ion pengotor Fe²⁺, Cr³⁺ dan Zn²⁺ dalam zirkon konsentrat buatan PSTA-Batan dalam asam HNO₃, HCl, HNO₃ + HCl dan H₂O dengan sistim tertutup menggunakan alat teflon bom digester. Penelitian ini diharapkan akan mendukung pembuatan rancang bangun reaktor pembuatan zirkonium opasifier yang bebas U dan Th di PSTA-BATAN. Penelitian ini akan mengamati kecepatan desorpsi (k_{des}), dan mendapatkan data persentase desorpsi serta profil desorpsi dari ion Fe²⁺, Cr³⁺, and Zn²⁺.

METODOLOGI

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan meliputi sampel konsentrat zirkon produk lokal PSTA-BATAN Yogyakarta hasil benefiasi dengan meja goyang, larutan standar spektrosol Fe²⁺, Cr³⁺, dan Zn²⁺ masing-masing dengan konsentrasi 1000 ppm buatan BDH, bahan pelarut asam nitrat pekat, dan asam klorida pekat, bahan bakar asetilen dari Sentra Multi Gas Utama Yogyakarta.

Alat

Alat yang digunakan berupa satu perangkat alat spektrometer serapan atom (SSA) tipe 50 AA buatan Varian Techtron, Australia, teflon bom digester, peralatan dari gelas (gelas beker, labu ukur), vial polietilen, mikro pipet efendorf, tungku pemanas, kompor listrik dan neraca analitik.

Tata Kerja

Sampel ditimbang 0,1 g, dimasukkan ke dalam tabung teflon, ditambah 3 ml asam nitrat 13%, dimasukkan ke dalam tabung stainless-steel, ditutup rapat dan dipanaskan pada suhu 150 °C dengan variasi waktu 1, 2, 3, 4, dan 5 jam. Hasil pelarutan setelah dingin dituang ke dalam gelas beker teflon, dan dipanaskan di atas pemanas pasir. Hasil pemanasan setelah dingin dituang ke dalam labu takar 10 ml dan ditepatkan dengan penambahan akuades sampai batas tanda tera. Pekerjaan dilanjutkan dilakukan dengan cara mengganti dengan pelarut asam klorida pekat, campuran asam dan air.

Teori

Laju desorpsi ion Fe²⁺, Cr³⁺, dan Zn²⁺ kedalam fase cair dilakukan dengan metode spektrometri serapan atom (SSA). Sebagai variabel tetap dilakukan dengan waktu kontak yang dimulai dari 1, 2, 3, 4, hingga 5 jam. Kondisi kesetimbangan diperoleh dengan melihat hubungan antara lama waktu kontak dengan konsentrasi unsur Fe²⁺, Cr³⁺, dan Zn²⁺ di dalam masing-masing pelarut asam. Dengan demikian waktu kontak tidak lagi meningkatkan konsentrasi unsur dalam masing-masing pelarut.

Kinetika desorpsi ditentukan berdasarkan peningkatan konsentrasi unsur (Fe²⁺, Cr³⁺, dan Zn²⁺) di dalam pelarut asam, campuran asam dan air selama berlangsungnya laju desorpsi dipakai persamaan Wankasi dengan asumsi reaksi order satu semu⁽¹⁰⁾

$$\frac{q_t}{q_0} = \exp(-k_{des}t) \quad (1)$$

Notasi q_t merupakan konsentrasi ion logam yang tinggal dalam phase padatan (mg/g) saat waktu t (menit), q_0 konsentrasi ion logam mula-mula dalam konsentrat zirkon (mg/g zirkon), k_{des} adalah konstante

kecepatan desorpsi dalam order satu (menit⁻¹). Karena terdapat logam yang resisten terhadap asam, campuran asam dan air maka persamaan (1) diubah menjadi,

$$\frac{q_t}{q_0} = \theta \exp(-k_{des}t) + (1 - \theta) \quad (2)$$

Notasi θ merupakan fraksi logam yang terdesorpsi dari phase padat (q_0), sedangkan $(1-\theta)$ merupakan fraksi yang resisten terhadap asam, campuran asam dan air. Selanjutnya bila dalam bentuk logaritma menjadi

$$\ln \frac{q_t}{q_0} = \ln \theta(-k_{des}t) + (1 - \theta) \quad (3)$$

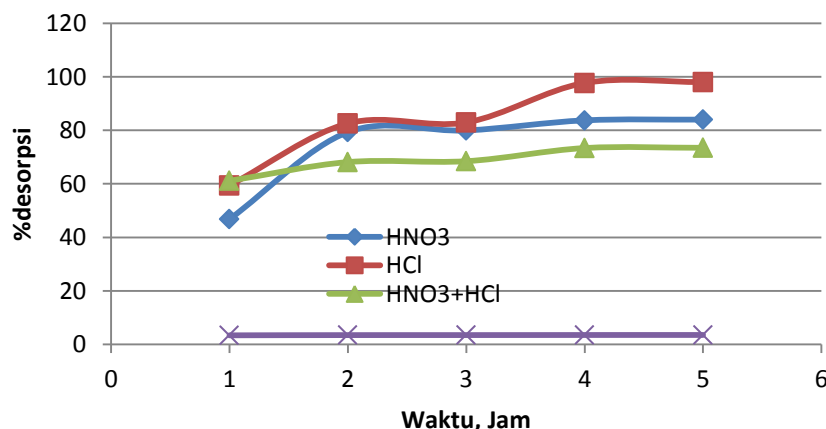
Manfaat mempelajari fenomena desorpsi akan membantu dalam mengelusidasi, penghapusan dan pemulihan kontaminan ion logam. Dengan demikian fenomena desorpsi juga dapat dipakai untuk mengetahui keunggulan maupun daur ulang adsorben maupun katalis. Selanjutnya dengan mengetahui fenomena desorpsi pada gilirannya akan berujung pada pengurangan biaya operasional dan perlindungan lingkungan⁽¹¹⁾. Pada penelitian akan memfokuskan memperoleh data desorpsi ion Zn^{2+} , Fe^{2+} dan Cr^{3+} pada zirkon konsentrat kedalam asam, campuran asam dan air sebagai fungsi waktu untuk memperoleh zirkonium opasifier.

Pada penelitian ini dipilih asam, campuran asam dan air karena kelompok *ligand* pengikat impuritas ion logam seperti sinanol, silaksan, karboksil, karbonil maupun hidroksil akan menjadi terprotonasi dengan penambahan proton dari asam. Akibat protonasi tersebut *ligand* tidak lagi menarik muatan positif dari ion logam terikat dan proton akan menggantikan ion logam sehingga ion logam mudah terlepas kedalam fase asam⁽¹¹⁾.

HASIL DAN PEMBAHASAN

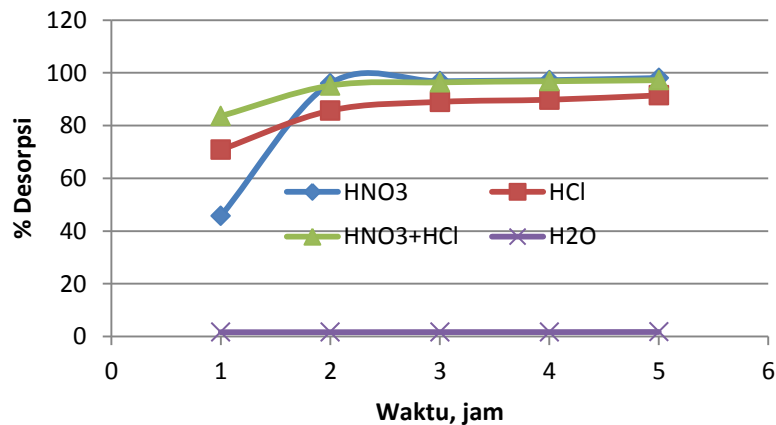
Presentase desorpsi Zn^{2+} , Fe^{2+} dan Cr^{3+}

Presentasi desorpsi merupakan gambaran banyaknya ion yang berhasil ditangkap oleh pelarut asam dari bulk mineral. Pada Gambar 1, 2 dan 3 dapat diperlihatkan pengaruh pelarut asam, campuran asam dan air terhadap desorpsi ion Zn^{2+} , Fe^{2+} dan Cr^{3+} dalam berbagai waktu kontak. Pada Gambar 1, terlihat bahwa desorpsi ion Zn^{2+} kedalam fase asam semakin meningkat dengan naiknya waktu kontak. Pada keadaan waktu kontak 5 jam ternyata konsentrasi Zn^{2+} dalam asam klorida paling tinggi dibandingkan asam nitrat maupun campuran asam serta air. Hal ini karena ion Zn^{2+} dengan nomer atom 30 mempunyai konfigurasi elektron (Ar) 3d¹⁰ 4s² telah terisi penuh. Sementara ion Zn^{2+} elektronegativitas 1,65 akan cenderung berikatan dengan ion klorida yang mempunyai nilai 3,15 dari HCl dibandingkan dengan HNO_3 maupun HCl + HNO_3 . Dengan demikian ion Zn^{2+} akan cenderung mengikat dua ion Cl^- dan membentuk $ZnCl_2$ ⁽¹²⁾. Fenomena ternyata sesuai dengan penelitian Feng, dkk⁽¹³⁾ yang menyatakan bahwa desorpsi kembali Zn^{2+} dalam media HCl 0,01M dapat mencapai 46%. Selanjutnya Fransus, dkk⁽¹⁴⁾ desorpsi Zn^{2+} dengan media campuran HCl + HNO_3 dalam beberapa mineral ternyata menghasilkan desorpsi yang rendah karena terbentuknya $NOCl_2$ (reaksi 4).

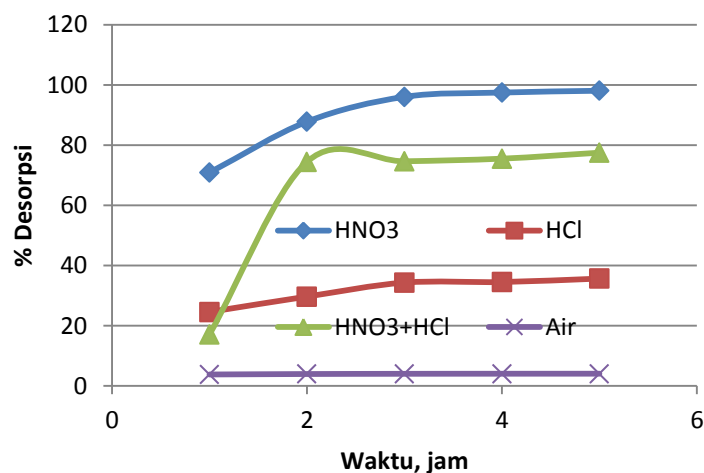


Gambar 1. Pengaruh pelarut asam, campuran asam dan air sebagai media terhadap desorpsi ion Zn^{2+} dari konsentrat zirkon.

Pada Gambar 2 dan 3, terlihat bahwa desorpsi ion Fe^{2+} dan Cr^{3+} akan meningkat dalam fase asam dengan meningkatnya waktu. Dari kedua Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa desorpsi ion Fe^{2+} dan Cr^{3+} terbaik pada suasana HNO_3 dan campuran $HNO_3 + HCl$. Sementara untuk pelarut HCl dan H_2O terlihat paling kecil dalam menghasilkan % desorpsi. Fenomena ini kemungkinan karena ion Fe^{2+} dan Cr^{3+} yang mempunyai elektronegativitas masing-masing 1,83 dan 1,66 cenderung lebih larut dalam HNO_3 dari pada HCl , walaupun kekuatan asam $HNO_3 < HCl$. Sedangkan bila ditinjau dengan sistim konfigurasi elektron ternyata Fe^{2+} dengan (Ar) $3d6 4s2$ mempunyai kekurangan empat pasangan elektron di kulit d. Sedangkan konfigurasi Cr^{3+} seperti (Ar) $3d5 4s1$ mempunyai kekurangan lima elektron pasangan pada kulit d dan satu elektron di kulit s. Besarnya kekurangan elektron tersebut mengakibatkan ion klorida yang hanya mempunyai satu elektron donor, tidak cukup tenaga untuk mengisi kekurangan pasangan di kulit d. Dengan demikian media Fe^{2+} dan Cr^{3+} lebih cenderung terikat pada media HNO_3 . Pada Gambar 2 dan 3 ternyata HNO_3 dan campuran $HNO_3 + HCl$ lebih kuat mengikat ion Fe^{2+} dan Cr^{3+} dengan % desorpsi yang lebih tinggi dari pada HCl . Kekuatan campuran asam HNO_3+HCl tersebut menjadi lebih asam, selanjutnya akan mengakibatkan ion Fe^{2+} dan Cr^{3+} menjadi resisten⁽¹³⁾. Selanjutnya dapat diprediksi bahwa ion Fe^{2+} dan Cr^{3+} lebih cenderung berikatan dengan ion NO_3^- membentuk $Fe(NO_3)_2$ dan $Cr(NO_3)_3$. Fenomena ini sesuai dengan Rotimi, dkk⁽¹⁵⁾ yang menyatakan bahwa HNO_3 cukup memuaskan dipakai pada desorpsi beberapa toksik metal. Demikian pula penelitian yang dilakukan oleh Gholipour, dkk⁽¹⁶⁾ yang melakukan desorpsi beberapa logam berat dengan HNO_3 memakai sampel Zirconolite .



Gambar 2. Pengaruh pelarut asam, campuran asam dan air sebagai media terhadap desorpsi ion Fe^{2+} dari konsentrat zirkon.

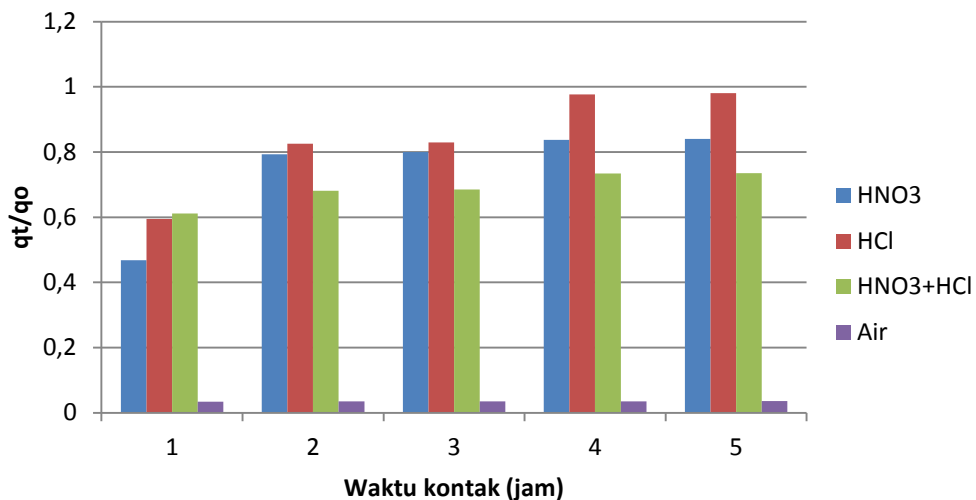


Gambar 3. Pengaruh pelarut asam, campuran asam dan air sebagai media terhadap desorpsi ion Cr^{3+} dari konsentrat zirkon.

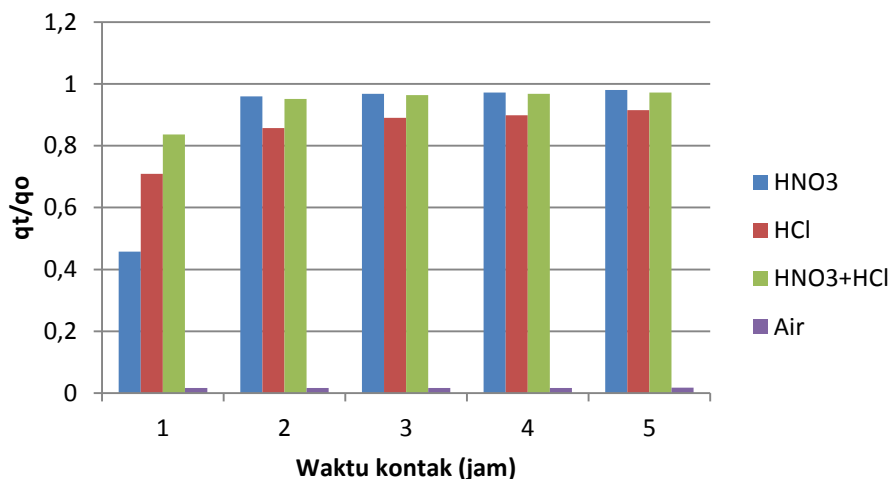
Berdasarkan Gambar 1, 2 dan 3 diperoleh persen desorpsi unsur Zn^{2+} , Fe^{2+} dan Cr^{3+} menggunakan asam dan campuran asam tertinggi pada waktu kontak 4 jam selanjutnya relatif pada keadaan sama dan setimbang masing-masing 97,70%, 97,21% dan 97,43%. Kemudian bila adsorpsi dilakukan menggunakan H_2O (pH netral) ternyata persen desorpsi jauh lebih rendah masing-masing 3,5%, 1,6% dan 4,01%.

Laju peluruhan Zn^{2+} , Fe^{2+} dan Cr^{3+}

Laju peluruhan merupakan gambaran fenomena laju masuknya ion Zn^{2+} , Fe^{2+} dan Cr^{3+} dari fase padat ke dalam fase cair akibat proses desorpsi pada saat waktu (t). Laju dinyatakan sebagai rasio konsentrasi yang tersisa pada konsentrat zirkon (qt) dengan konsentrasi awalnya (q_0) dinyatakan sebagai (qt / q_0) pada saat waktu (t). Laju desorpsi ini menunjukkan meningkatnya ion hidrogen atau hidronium konsentrasi ion Zn^{2+} , Fe^{2+} dan Cr^{3+} dalam fase cair. Meskipun laju desorpsi belum tercapai sempurna, jelas dari hasil bahwa media asam HCl adalah agen pemulihan yang lebih baik dari pada HNO_3 , campuran HNO_3+HCl maupun H_2O untuk ion Zn^{2+} (Gambar 4). Hal ini ternyata sesuai dengan penelitian Kuczajowska, dkk.⁽¹⁷⁾ yang melakukan desorpsi logam berat pada sampel slude.



Gambar 4. Laju peluruhan ion Zn^{2+} pada desorpsi konsentrat zirkon memakai asam HNO_3 , HCl , HNO_3+HCl dan H_2O .

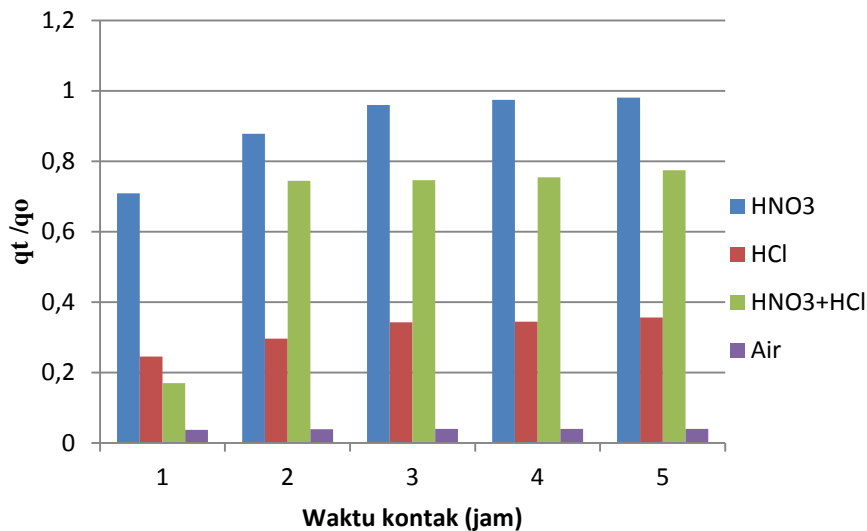


Gambar 5. Laju peluruhan ion Fe^{2+} pada desorpsi konsentrat zirkon memakai asam HNO_3 , HCl , HNO_3+HCl dan air.

Selanjutnya pada Gambar 5, dapat diperlihatkan bahwa pada waktu satu jam laju campuran HNO₃+HCl paling unggul dari pada HCl dan HNO₃. Hal ini karena campuran asam ini kereaktifan pada waktu singkat sekitar satu jam sangat kuat, tetapi setelah dua jam laju adsorpsi menjadi lebih rendah hampir sama dengan HNO₃. Ternyata campuran asam ini bila dengan berjalanya waktu (>2jam) akan terurai menjadi gas NOCl dan Cl₂ sehingga kurang reaktif dan reaksi kembali kearah kiri. Hal ini dapat dilihat dari persamaan reaksi sebagai berikut,



Dari fenomena ini laju desorpsi Fe²⁺ dalam HNO₃ dan campuran HNO₃+HCl mendekati sama. Fenomena ini ternyata sesuai dengan penelitian oleh Tamer,dkk⁽¹¹⁾ yang melakukannya desorpsi ion Al³⁺, Fe²⁺ dan Mn²⁺ dengan aquaregia dengan berbagai berbagai mineral.

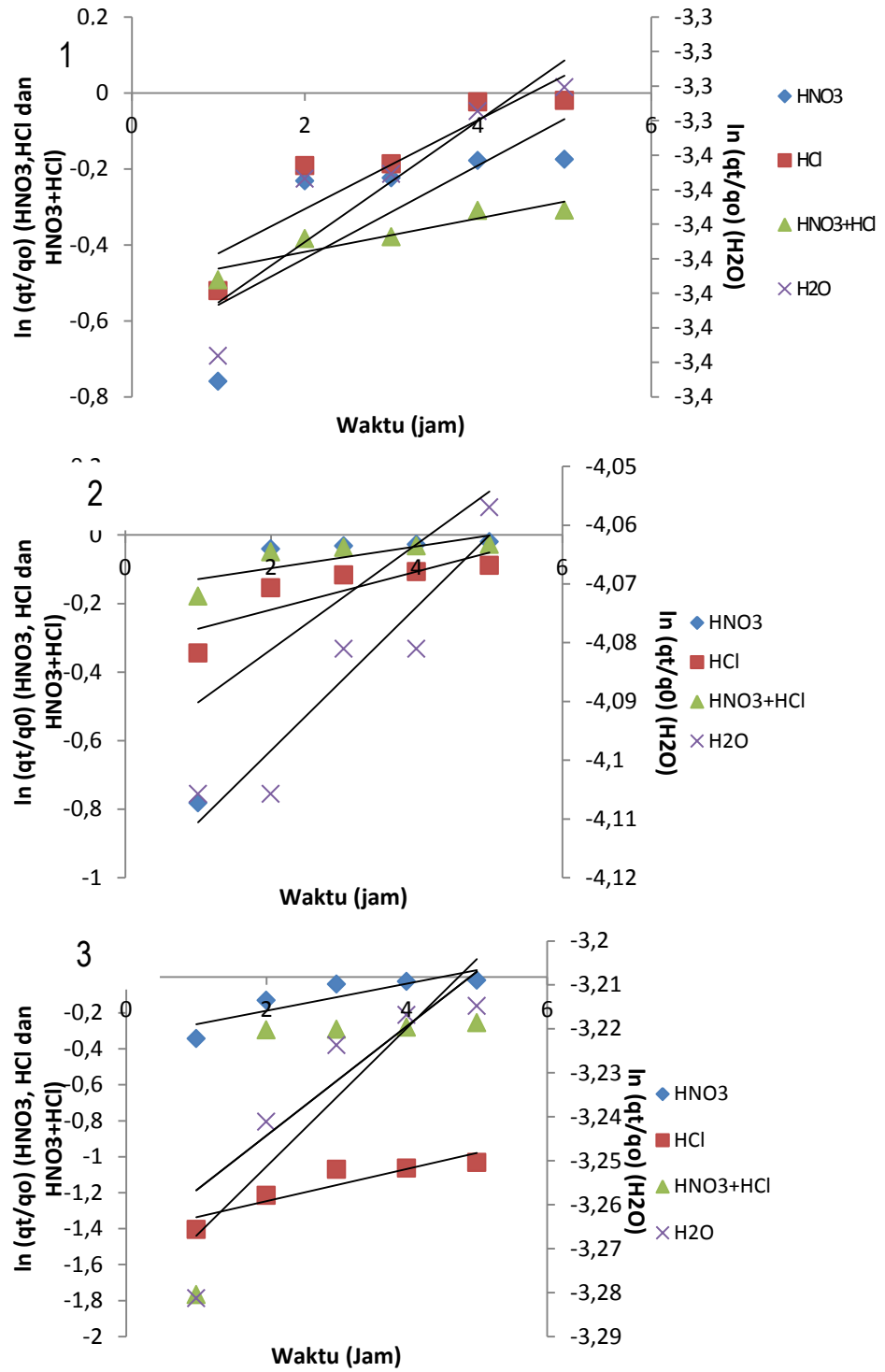


Gambar 6. Laju peluruhan ion Cr³⁺ pada desorpsi konsentrat zirkon memakai asam HNO₃, HCl, HNO₃+HCl dan H₂O.

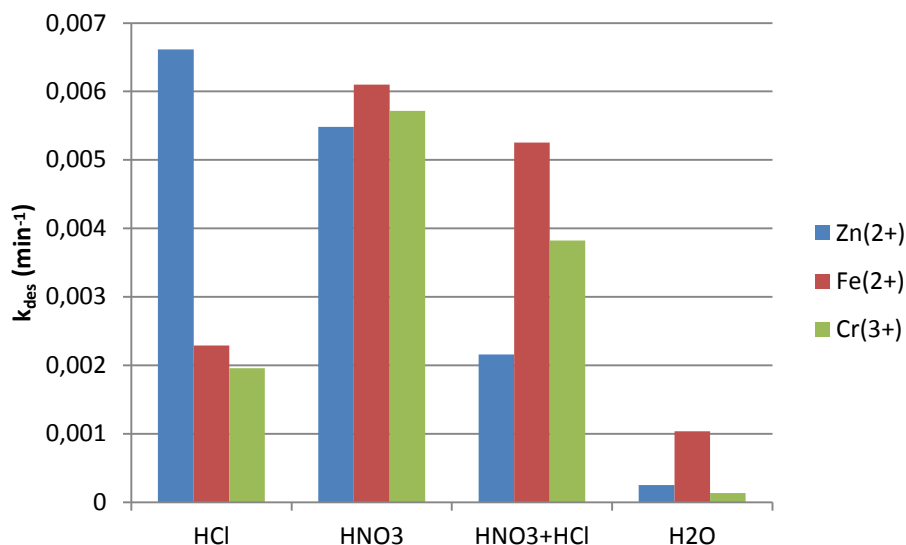
Dari Gambar 6, diperhatikan bahwa laju Cr³⁺ terbaik pada pelarut HNO₃ dan dengan waktu kontak tiga jam laju didapat harga qt/qo 0,94. Hal ini diperkirakan Cr³⁺ lebih menyukai HNO₃ bukan campuran HNO₃+HCl maupun HCl dan H₂O. Pada waktu kontak 3-5 jam harga laju Cr³⁺ relatif sama dan konstan. Fenomena ini ternyata terdapat bagian yang resisten terhadap asam maupun campuran dan tetap tinggal di dalam badan konsentrat zirkon. Berdasarkan penelitian Chen,dkk⁽¹⁸⁾ yang melakukan optimasi desorpsi ion Cr³⁺ ternyata didapat waktu kontak optimal pada 4 jam dengan pesentase desorpsi 89,4% menggunakan pelarut HCl.

Konstante desorpsi ion Fe²⁺, Cr³⁺, dan Zn²⁺

Studi kinetika diperlukan untuk mempertimbangkan ujuk kerja proses desorpsi dan kinerja keseluruhan dari reagen desorpsi HNO₃, HCl, HNO₃+HCl dan air. Dengan asumsi kinetika desorpsi dengan order satu, maka k_{des} dipakai sebagai evaluasi konstan pelepasan ion Zn²⁺, Fe²⁺ dan Cr³⁺. Selanjutnya k_{des} merupakan ukuran dari derajat desorpsi, dan semakin besar nilai harga k_{des} akan semakin besar daya desorpsinya. Dengan melakukan plot antara $\ln \frac{q_t}{q_o}$ dengan t pada persamaan (3) maka k_{des} dapat diketahui.



Gambar 7. Kurva $\ln(q_t/q_0)$ lawan waktu (jam) pada desorpsi Zn^{2+} (1), Fe^{2+} (2) dan Cr^{3+} (3) dengan asam HNO_3 , HCl , HNO_3+HCl dan H_2O .



Gambar 8. Hasil pengukuran k_{des} dengan persamaan (3) dengan pelarut HNO₃, HCl, HNO₃+HCl dan H₂O

Berdasarkan dari persamaan (3) dan diaplikasikan pada Gambar 7, maka hasil k_{des} dari masing pelarut asam dan campurannya dapat dilihat pada Gambar 8. Pada Gambar 8 tersebut dapat diperlihatkan bahwa untuk melakukan desorpsi menggunakan pelarut HCl berturut-turut ion terbaik adalah ion $Zn^{2+} > Fe^{2+} > Cr^{3+}$. Sementara untuk pelarut desorpsi HNO₃ terbaik pada ion $Fe^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+}$. Kemudian untuk pelarut desorpsi campuran HNO₃+HCl terbaik masih pada $Fe^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+}$. Ternyata fenomena kinetika desorpsi ion Zn^{2+} , Fe^{2+} dan Cr^{3+} tersebut mendukung mendukung dari pernyataan maupun percobaan yang dilakukan diatas.

KESIMPULAN

Kecepatan desorpsi (k_{des}) ion Zn^{2+} , Fe^{2+} dan Cr^{3+} dalam konsentrat zirkon produk lokal menggunakan asam HNO₃, HCl, HNO₃+HCl dan H₂O dapat diamati dengan teflon bom digester dengan variasi waktu kontak. Desorpsi akan dipengaruhi oleh waktu kontak, jenis dan macam pelarut asam. Dari data waktu kontak dan konsentrasi dapat diperlihatkan profil persentase desorpsi, laju desorpsi dan konstante kecepatan desorpsi (k_{des}). Konstante desorpsi (k_{des}) menggunakan pelarut HCl terbaik untuk ion Zn^{2+} dengan harga k_{des} $6,61 \cdot 10^{-3}$ menit⁻¹, dengan urutan harga k_{des} ion $Zn^{2+} > Fe^{2+} > Cr^{3+}$. Sementara untuk pelarut HNO₃ harga k_{des} terbaik pada ion Fe^{2+} dengan $6,1 \cdot 10^{-3}$ menit⁻¹, dengan urutan ion $Fe^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+}$. Sementara untuk pelarut H₂O hanya Fe^{2+} yang mempunyai harga paling tinggi sebesar $1,04 \cdot 10^{-3}$ menit⁻¹.

UCAPAN TERIMAKASIH.

Dengan selesainya pembuatan makalah ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada kepala kelompok Teknologi Proses Zirkonium, Ir Herry Poernomo MT dan saudara Sajima S.Si yang telah mengizinkan dan memberikan konsentrat zirkonium untuk dilakukan proses desorpsi sekaligus menentukan konstante kinetika.

DAFTAR PUSTAKA

1. H. POERNOMO, *Informasi umum zirkonium*.. Badan Tenaga Atom,Pusat Sains dan Teknologi Akselerator.(2012) (bagian dari buku belum ISBN)
2. H. POERNOMO, Prospek bisnis pengolahan pasir zirkon lokal menjadi produk zirkonium dan oksida logam tanah jarang bebas radioaktif. Badan Tenaga Nuklir Nasional, Proposal Sinas, Badan Tenaga Atom,Pusat sains dan Teknologi Akselerator (2014).

3. N.HEROLDOVA. *Nízkoteplotní alterace metamikních minerálů*. a Thesis of Masarykiana Brunensis, Universitas, Přírodovědecká fakulta, Brno (2013).
4. M.J. LIDDY, PATENT United States, No.5, 478, 538., Melbourne., REMOVAL OF RADIOACTIVITY FROM ZIRCON. (1995).
5. M.S.M. YUSOFF, *Uranium and Thorium Leaching of Malaysian Zircon At Various Heat Treatment Temperatures*. *J. Sains Nukl. Malaysia* 20, (2002) 48–55.
6. S.P. MISHRA, *Adsorption – desorption of heavy metal ions*. *Curr. Sci.* 107, (2014) 601–612.
7. C. SCHMIDT, K. RICKERS, R. WIRTH, & L. NASDALA, *Leaching of metamict and recrystallized zircon in $H_2O + HCl$: an in situ SR-XRF study*. *Geophys. Res. Abstr.* 7, (2010) 2–3.
8. D. TROMANS, *Solubility of crystalline and metamict zircon : A thermodynamic analysis*. *J. Nucl. Mater.* 357, (2010) 221–233.
9. J. HAIFLER., R.S. *Chemical Characterisation and Xrd Study of Zirconolite From Håkestad Alkaline Pegmatite , Larvik Plutonic Complex , South Norway*. *Acta Mineral. Abstr. Ser.* 7, (2012) 23-24.
10. D. WANKASI, M.J. HORSFALL, A.I.S. *Desorption of Pb^{2+} and Cu^{2+} from Nipa palm (*Nypa fruticans* Wurmb) biomass*. *African J. Biotechnol.* 4, (2010) 923–927.
11. E.A.TAMER. *Transport And Adsorption-Desorption Of Heavy Metals In Different Soils*. Thesis Dissertation of The School of Plant, Environmental, and Soil Sciences, Louisiana State University (2013).
12. I.N. LEVINE., *Quantum Chemistry.*, 4th ed., Prentice Hall., N York. p.376. (1991), ISBN 0-205-12770-3.
13. Y. FENG, et al., *Adsorption of Cd (II) and Zn (II) from aqueous solutions using magnetic hydroxyapatite nanoparticles as adsorbents*. *Chem. Eng. J.* 162, (2010) 487–494.
14. M. FRANUS, L. BANDURA, *Sorption of heavy metal ions from aqueous solution by glauconite*. *Fresenius Environ. Bull.* 23, (2014) 825–839.
15. A. ROTIMI, G. OKEOGHENE, *Sorption and Desorption Studies on Toxic Metals From Brewery Effluent Using Eggshell as Adsorbent*. *Adv. Nat. Sci.* 7, (2014)15–24.
16. M. GHOLIPOUR, H. HASHEMIPOUR, M. MOLLASHAHI, *Hexavalent chromium removal from aqueous solution Via adsorption on granular activated carbon: Adsorption, desorption, modeling and Simulation studies*. *ARN J. Eng. Appl. Sci.* 6, (2011) 10–18.
17. M. KUCZAJOWSKA-ZADROŻNA, U. FILIPKOWSKA, *Kinetics of desorption of heavy metals and their mixtures from immobilized activated sludge*. *Desalin. Water Treat.* 57, (2016) 9396–9408.
18. Y.G. CHEN, Y. HE, W.M. YE, W.H. SUI, M.M. XIAO, *Effect of shaking time, ionic strength, temperature and pH value on desorption of Cr(III) adsorbed onto GMZ bentonite*. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)* 23, (2013) 3482–3489.