

PENGARUH ASAM FLUOROBORAT DALAM PELARUTAN LOGAM URANIUM DAN PENGENDAPAN HASIL PELARUTANNYA

Agoeng Kadarjono*, Sigit*, Juane Plantika Menra**

*Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang
e-mail: agung_batan@yahoo.com

**Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Andalas, Padang
e-mail: juane_plantika@yahoo.com
(Diterima 31-8-2010, disetujui 15-10-2010)

ABSTRAK

PENGARUH ASAM FLUOROBORAT DALAM PELARUTAN LOGAM URANIUM DAN PENGENDAPAN HASIL PELARUTANNYA. Pengaruh asam fluoroborat (HBF_4) sebagai katalisator dalam proses pelarutan logam uranium menggunakan asam klorida (HCl) dan proses pengendapan dari hasil pelarutannya menggunakan asam fluorida (HF) menjadi uranium tetrafluorida (UF_4) telah dipelajari. Percobaan dimulai dari pelarutan logam uranium menggunakan asam klorida yang diberi larutan asam fluoroborat sebagai katalisator, lalu dilanjutkan dengan pengendapan menggunakan asam fluorida terhadap hasil pelarutannya. Proses pelarutan menggunakan parameter konsentrasi HCl , konsentrasi HBF_4 , suhu, dan waktu, sedangkan proses pengendapan dengan HF dilakukan untuk mendapatkan UF_4 . Sampel logam uranium berbentuk potongan-potongan kecil *dipickling* dalam larutan panas HNO_3 3M, lalu dinetralkan dengan akuades dan dibilas dengan alkohol. Sampel ditimbang dan kemudian dilarutkan dengan campuran larutan ($\text{HCl} + \text{HBF}_4$) konsentrasi masing-masing (HCl 2,5 – 25% dan HBF_4 0,5 – 2,5%) pada suhu kamar hingga 60 °C, selama 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Sampel yang tidak larut dinetralkan dengan akuades, dibilas dengan alkohol, lalu dikeringkan, dan ditimbang. Terhadap larutan hijau terang hasil pelarutan ditambahkan larutan HF 40% berlebih, dan diaduk selama 60 menit tanpa pemanasan. Endapan yang terbentuk dipisahkan dari filtratnya dengan cara didekantir, lalu endapan tersebut dianalisis menggunakan difraksi sinar-X (XRD). Pada proses pelarutan diperoleh kondisi yang relatif baik pada konsentrasi HCl 10% dan HBF_4 2,5%, suhu 50 °C dan waktu 60 menit dengan pelarutan uranium sebesar 15,72%. Sedangkan pada proses pengendapan diperoleh hasil fraksi serbuk UF_4 sebesar 75,05% dan hidrat UF_4 24,95%.

KATA KUNCI: pelarutan logam uranium, asam fluoroborat (HBF_4), pengendapan, uranium tetrafluorida (UF_4)

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF FLUOROBORIC ACID ON THE DISSOLUTION OF URANIUM METAL AND PRECIPITATION OF ITS DISSOLUTION YIELD. *The influence of hydrofluoroboric acid (HBF₄) on the dissolution of uranium metal and the precipitation of its dissolution yield has been studied. The experiments began with dissolution of uranium metal using hydrochloric acid that contains hydrofluoroboric acid, followed by precipitation of the dissolution yield using hydrofluoric acid. The parameters for the dissolution process include concentrations of HCl and HBF₄, temperature, and time, while the precipitation process using HF is aimed to obtain UF₄. Uranium metal samples in the form of chips were pickled in a hot 3M nitric acid, then neutralized using demineralized water and rinsed with alcohol. The samples were weighed and then dissolved using mixture of hydrochloric acid and hydrofluoroboric acid at concentrations of 2.5 – 25% HCl and 0.5 – 2.5% HBF₄ at room temperature up to 60 °C for 30, 60, 90, 120 and 150 minutes. The undissolved samples were neutralized by demineralized water, rinsed with alcohol, and then dried and weighed. Excess solution of 40% HF was added into the light green solution, and then the mixture was stirred for 60 minutes without heating. The precipitates formed were separated from the filtrate by decanting and then analyzed by X-Ray Diffraction (XRD). The relatively satisfactory conditions in the dissolution process were obtained at 10% HCl and 2.5% HBF₄ at a temperature of 50 °C and a period of 60 minutes. Meanwhile in the precipitation process, the fractions of UF₄ powder and UF₄ hydrate were 75.05% and 24.95% respectively.*

FREE TERMS: *uranium metal dissolution, hydrofluoroboric acid (HBF₄), precipitation, uranium tetrafluoride (UF₄)*

I. PENDAHULUAN

Proses pembuatan bahan bakar untuk reaktor riset tidak terlepas dari pembuatan bahan bakar induk berupa logam uranium, karena logam uranium digunakan sebagai bahan bakar paduan. Proses pembuatan logam uranium dikerjakan secara kimiawi, dan dapat diawali dengan konversi gas UF₆ atau pelarutan konsentrat uranium (*yellow cake*) kemurnian rendah menggunakan pelarut asam. Selain HNO₃ sebagai pelarut, pelarut lain yang umum digunakan antara lain asam klorida (HCl), asam fosfat (H₃PO₄), asam sulfat (H₂SO₄), dan lainnya^[1]. Segep pelarut ini mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Dari sekian pelarut yang paling baik digunakan untuk melarutkan uranium adalah HNO₃. Daya larut asam ini sangat kuat sehingga uranium yang dapat dipungut sangat optimal. Pemilihan pelarut ini didasarkan pada keunggulan menghasilkan produk yang lebih murni, namun kelemahannya membutuhkan proses yang lama dan mahal. Proses yang dilalui ketika menggunakan pelarut HNO₃ adalah proses pelarutan, ekstraksi, pemurnian,

konversi, kalsinasi, reduksi, hidrofluorinasi, dan diakhiri reduksi termal untuk menghasilkan logam uranium. Dari proses pelarutan hingga reduksi termal tersebut mengalami perubahan bentuk yaitu dari larutan menjadi padatan dan perubahan senyawa dari senyawa uranil menjadi oksida, fluorida dan logam murni, sehingga pada gilirannya dapat menimbulkan potensi terbentuknya deposit dan efluen proses uranium yang besar pada sistem peralatan, sehingga mengakibatkan biaya yang tinggi^[2].

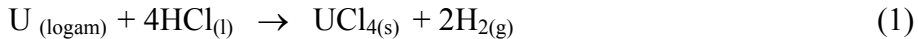
Dalam industri kimia biaya yang tinggi sedapat mungkin harus dikurangi. Salah satu upaya yang dilakukan adalah menghindari deposit atau kerak dalam sistem pemipaan. Kerak yang terbentuk dalam sistem pemipaan akan mengurangi efisiensi proses, biaya perbaikan / perawatan, dan mengganggu sistem perpindahan panas.

Upaya untuk mengurangi kekurangan telah dilakukan oleh beberapa peneliti lain, salah satunya mencoba menggunakan senyawa katalis. Teknologi katalis jauh berkembang pesat sejak dasawarsa 80-an. Penggunaan bahan katalis diharapkan dapat mendukung dan digunakan pada teknologi nuklir dalam proses pembuatan bahan bakar reaktor. Senyawa asam fluoroborat (HBF_4) dapat berperan sebagai katalis dalam proses pembuatan serbuk UF_4 dengan cara menghindari terbentuknya kerak^[3,4]. Bahan ini berupa asam kuat dan tersedia dalam bentuk larutan dengan konsentrasi antara 42 dan 48%. Dalam kimia organik, senyawa asam ini lambat terhidrolisis dalam air membentuk HBF_3OH dan HF . Dalam sel galvanis, HBF_4 digunakan sebagai katalis untuk proses alkilasi dan polimerisasi, misalnya sebagai larutan elektrolit untuk sistem sensor oksigen, sedangkan dalam industri pelapisan logam (*metal plating*), campuran timah(I) fluoroborat / asam fluoroborat dan senyawa organik tertentu digunakan sebagai larutan elektrolit untuk pelapisan timah^[5].

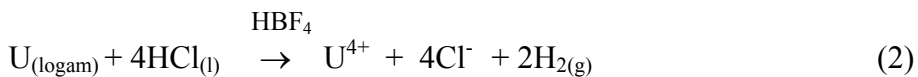
Penelitian ini melengkapi penelitian sebelumnya^[2], dengan menambahkan variasi parameter yang berpengaruh dan perolehan serbuk UF_4 hasil pengendapan, sehingga diharapkan dapat memperoleh informasi yang lebih lengkap. Keberhasilan penelitian ini selain dapat memangkas jalur / tahapan proses yang panjang juga diharapkan dapat mengolah limbah proses, scrap uranium hasil samping proses reduksi kalsiotermik dan proses pemungutan (*recovery*) uranium dalam pelat elemen bakar jenis silisida di kemudian hari, tanpa memerlukan waktu lama dan menghasilkan deposit seperti saat dilakukan proses pelarutan menggunakan HNO_3 .

II. TEORI

Uranium larut dalam asam klorida menghasilkan endapan hitam yang diprediksi sebagai bentuk senyawa uranium tetraklorida (UCl_4), seperti ditunjukkan pada reaksi (1).



sedangkan pelarutan uranium dalam asam klorida dalam suasana katalis HBf_4 , tidak menghasilkan endapan hitam tetapi masih dalam bentuk larutan. Larutan tersebut mengandung H_2O , HCl , HBf_4 , ion uranium dan ion klorida. Pembebasan gas hidrogen, ditunjukkan pada reaksi (2).



Keberadaan asam fluoroborat mencegah terbentuknya endapan (*sludge*) dan bersifat sebagai katalis dalam larutan^[3,4].

Uranium tetrafluorida (UF_4) yang dikenal sebagai *green salt* merupakan kristal hijau padat yang tidak larut dalam air. UF_4 memiliki massa molekul 314,02 g/mol, titik leleh 1036 °C, titik didih 1417 °C dan massa jenis 2,0 g/cm³ sampai 4,5 g/cm³ tergantung proses dan bahan awal pembuatannya^[6].

Uranium tetrafluorida (UF_4) merupakan senyawa antara yang penting pada proses pembuatan logam uranium dalam pembuatan bahan bakar. Pada umumnya UF_4 dibuat dari bahan dasar uranium dioksida (UO_2) menggunakan proses hidrofluorinasi pada temperatur tinggi dan reaksi yang terjadi bersifat eksotermis. Proses tersebut dilakukan dalam suasana gas hidrogen yang sifatnya mudah terbakar, sehingga reaksi yang terjadi sulit dikontrol. Oleh karena itu, senyawa UF_4 yang terbentuk tidak selalu murni.

Proses pembuatan serbuk UF_4 dapat ditempuh melalui beberapa jalur, di antaranya^[7,8]:

1. Hidrofluorinasi secara kering, yaitu UF_4 yang diperoleh dari uranium dioksida yang dipanaskan pada suhu tinggi menggunakan gas HF.
2. Hidrofluorinasi cara basah, yaitu $UF_4 \cdot xH_2O$ yang diperoleh dengan cara mengendapkan larutan uranil sulfat atau uranil klorida dengan gas atau larutan HF.
3. Fluorinasi UF_6 dengan kloroalkena, misalnya freon-12 (perkloroetilena).
4. Hidrolisis UF_6 menghasilkan uranil fluorida (UO_2F_2), lalu diendapkan menggunakan HF dan timah(II) klorida ($SnCl_2$) sebagai reduktor.

5. Reduksi secara elektrodialisis larutan uranil (bersuasana klorida, sulfat, dan nitrat) menggunakan membran kation. Teknik tersebut telah dilakukan oleh para peneliti ORNL, AS yang dikenal dengan proses EXCER. Hasil larutan urano diendapkan oleh pelarut HF pada suhu 900 °C.

Selain itu UF_4 juga dapat dibuat dari berbagai bahan dasar seperti UF_6 , $UO_2(NO_3)_2$, UO_3 , UO_2 , dan U_3O_8 ^[9]. Adapun unsur pengotor dalam logam uranium dan analisis uranium dalam serbuk telah dilakukan dan dikuasai dan dapat diterapkan dalam penelitian ini^[10,11].

III. TATA KERJA

Bahan yang digunakan adalah logam uranium berbentuk batang segiempat berukuran 5×10×0,6 cm yang dirol panas untuk mendapatkan ketebalan <0,25 cm agar mudah untuk dipotong, asam nitrat pekat (HNO_3 , Merck), metanol, asam klorida (HCl 37%, Merck), hidrogen tetrafluorida (HF_4 48-50%, Merck), dan hidrogen fluorida (HF 40%, Merck).

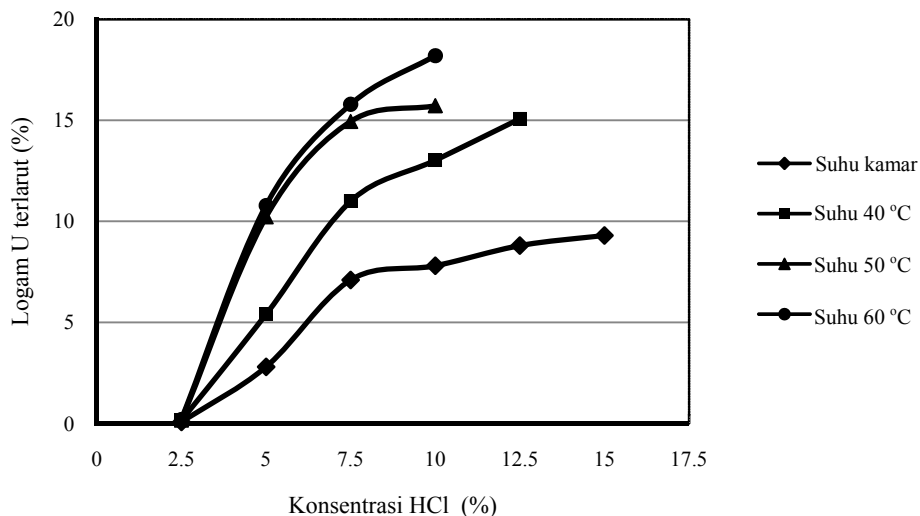
Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas ukur, beker gelas, pipet, penjepit, kertas saring *Whatman* 41, labu distilasi, pemanas mantel, thermostat, botol plastik bertutup, kondensor dan neraca analitik.

Potongan kecil uranium *dipickling* (pembersihan oksida dan minyak secara kimiawi) dalam larutan HNO_3 3M panas (± 70 °C) hingga bebas minyak dan oksida logam, lalu dinetralkan dengan akuades dan dibilas dengan alkohol. Sampel ditimbang dan dilarutkan dengan campuran larutan (HCl + HF_4) masing-masing menggunakan variasi konsentrasi HCl, konsentrasi HF_4 , suhu, dan waktu. Konsentrasi HCl yang dipilih dari 2,5% hingga 25%, konsentrasi HF_4 dari 0,5% hingga 3,5%, suhu dari suhu kamar hingga 60 °C, dan waktu percobaan 30 hingga 120 menit. Awalnya logam U dilarutkan dalam HCl pada konsentrasi dari 2,5% hingga 25% pada suhu tetap (suhu kamar) dengan penambahan katalis HF_4 2,5% dan waktu pelarutan selama 60 menit. Ketika dalam pelarutan logam uranium terbentuk endapan, konsentrasi HCl segera dihentikan. Selanjutnya suhu pelarutan dinaikkan menjadi 40, 50 dan 60 °C, sedangkan konsentrasi HCl dimulai kembali dari konsentrasi 2,5% hingga 25%. Sementara itu konsentrasi HF_4 dan waktu dibuat tetap yaitu 2,5% dan 60 menit. Untuk menentukan waktu pelarutan pada variasi konsentrasi HF_4 , konsentrasi HCl dan suhu dibuat tetap yaitu pada kondisi pelarutan yang relatif baik. Sampel tak terlarut dinetralkan dengan akuades, dibilas dengan alkohol, lalu dikeringkan dan ditimbang. Pada larutan hijau terang hasil pelarutan ditambahkan larutan HF 40% berlebihan, kemudian diaduk selama 60 menit

tanpa pemanasan. Endapan yang terbentuk dipisahkan dari filtratnya dengan cara didekantir, lalu endapan tersebut diberi air panas secukupnya. Endapan dipisahkan dengan cara didekantir kembali, kemudian endapan dalam wadah teflon dikeringkan menggunakan pemanas. Endapan yang diperoleh dianalisis menggunakan difraksi sinar-X (XRD).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencarian kondisi pelarutan logam U terlarut dengan relatif baik dilakukan dengan cara bervariasi suhu, konsentrasi HCl, katalis HBF_4 dan waktu. Pengaruh konsentrasi HCl terhadap persentase hasil pelarutan logam U dengan konsentrasi HBF_4 tetap 2,5% pada berbagai suhu ditampilkan pada Gambar 1. Konsentrasi HCl yang digunakan dalam setiap percobaan dimulai dari 2,5 – 25%, namun ketika hasil pelarutan terbentuk endapan, maka konsentrasi HCl yang lebih tinggi tidak dilakukan. Pada suhu kamar dan 40 °C terbentuk endapan dengan konsentrasi HCl masing-masing di atas 15% dan 12,5%, sedangkan pada suhu 50 dan 60 °C setelah konsentrasi HCl di atas 10% sehingga pelarutan logam uranium yang menghasilkan endapan tidak ditampilkan pada Gambar 1.



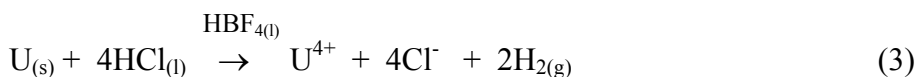
Gambar 1. Hubungan antara konsentrasi HCl dengan pelarutan logam uranium pada berbagai suhu dengan konsentrasi HBF_4 2,5% dan waktu 60 menit.

Proses pelarutan logam U pada berbagai suhu dan konsentrasi HCl awalnya menghasilkan larutan hijau hingga terbentuk endapan hitam ketika

konsentrasi HCl dan suhu dinaikkan. Gambar 1 hanya menampilkan kondisi hasil pelarutan berupa larutan berwarna hijau terang dan tidak terbentuk endapan. Gambar 1 menggambarkan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi HCl dan suhu pelarutan maka persentase logam U yang terlarut semakin meningkat, meskipun hingga suhu 60 °C grafik belum mengalami penurunan, namun pada penelitian ini variasi suhu dibatasi hingga suhu 60 °C. Selain itu, dengan semakin tinggi suhu pelarutan maka semakin kecil konsentrasi HCl yang dibutuhkan, yang berarti bahwa parameter suhu dan konsentrasi sangat berpengaruh pada proses pelarutan logam U.

Gambar 1 menunjukkan bahwa logam U terlarut paling banyak pada suhu 60 °C, namun antara suhu 50 dan 60 °C tidak terdapat perbedaan yang signifikan, hanya sedikit berbeda pada konsentrasi HCl 10%. Meskipun pada suhu 60 °C persentase logam U yang terlarut lebih banyak, namun pada suhu 50 °C dengan konsentrasi HCl 10% lebih dipilih. Hal ini karena persentase logam U terlarut tidak berbeda jauh, yaitu masing-masing 15,72 dan 18,20%. Di samping itu pada suhu 60 °C ada kecenderungan terjadi endapan dan hasil pelarutan berwarna hijau pekat. Terbentuknya larutan hijau pekat diindikasikan bahwa pada suhu yang tinggi akan menyebabkan katalis HBF_4 terhidrolisis menjadi HBF_3OH dan HF , sehingga dapat mempengaruhi kualitas katalis dan menyebabkan larutan katalis menjadi sulit didaur ulang. Pengaruh tersebut dapat dilihat dari pengaruh HF hasil hidrolisis yang dapat menyebabkan terbentuknya endapan atau larutan berwarna hijau.

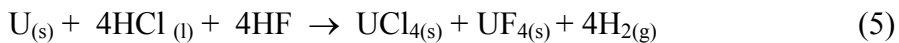
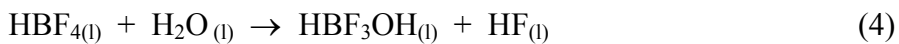
Beberapa alasan yang mendasari pemilihan suhu 50 °C dengan konsentrasi HCl 10% sebagai pelarutan logam U yang relatif baik adalah reaksi pelarutan logam U merupakan reaksi eksotermis, energi panas yang digunakan, dan faktor ekonomi katalis. Pelarutan logam U merupakan reaksi eksotermis menghasilkan gas H_2 . Semakin tinggi suhu pelarutan maka semakin besar gas H_2 yang dibebaskan, sehingga untuk mengendalikan reaksi tersebut dilakukan penambahan katalis. Suhu pelarutan yang lebih rendah akan menghasilkan gas H_2 yang lebih sedikit dan dapat mencegah terbentuknya endapan (hasil pelarutan masih berbentuk larutan atau uranium dan klorin berbentuk ion). Hal ini dapat dilihat pada reaksi (3).



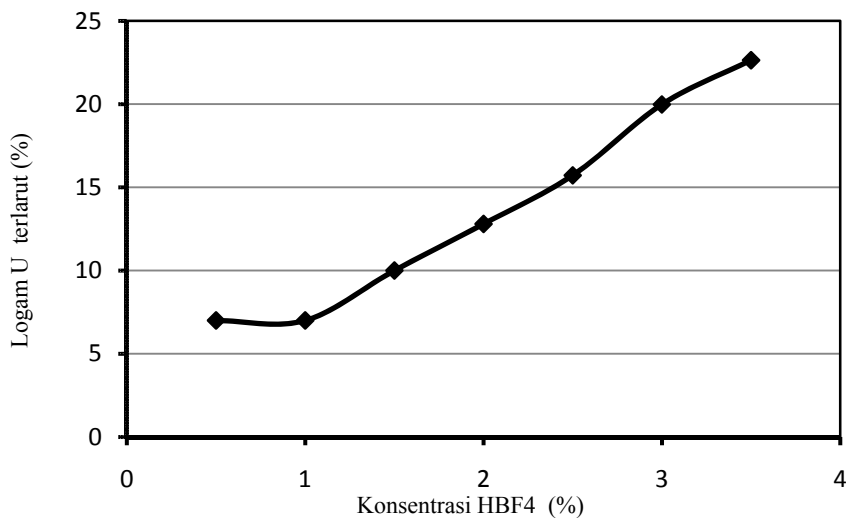
Selain itu, suhu 50 °C lebih mudah dicapai, sehingga tidak memerlukan energi yang lebih besar untuk pembangkitan panas. Alasan ekonomi katalis

dapat dilihat dari kebutuhan proses yang hanya membutuhkan konsentrasi rendah (2,5%). Oleh karena itu, konsentrasi HCl 10% dengan suhu pelarutan 50 °C dan konsentrasi katalis 2,5% dipilih sebagai kondisi pelarutan logam U yang relatif baik.

Larutan pekat dan endapan hitam yang terbentuk memang tidak diinginkan dalam penelitian ini karena diindikasikan terbentuk campuran senyawa UCl_4 dan UF_4 dari pengaruh HF hasil hidrolisis/penguraian HF_4 dan pengaruh larutan HCl yang melarutkan logam U. Endapan UCl_4 dan UF_4 yang terbentuknya dapat dilihat pada reaksi (4) dan (5).



Setelah diperoleh konsentrasi HCl dan suhu pelarutan logam U yang relatif baik, yaitu pada konsentrasi HCl 10% dengan suhu 50 °C, maka penelitian dilanjutkan dengan melakukan variasi konsentrasi katalis HF_4 . Hasil pelarutan logam U pada berbagai variasi konsentrasi HF_4 dengan konsentrasi HCl 10%, suhu 50 °C, dan waktu 60 menit ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi HF_4 dengan pelarutan logam uranium pada konsentrasi HCl 10%, suhu 50 °C, dan waktu 60 menit.

Gambar 2 menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi konsentrasi katalis HBF_4 , logam U yang terlarut semakin banyak. Namun pada penggunaan katalis dari konsentrasi 3% hingga 3,5%, hasil pelarutan berwarna hijau pekat cenderung terdapat endapan. Oleh karena penggunaan konsentrasi katalis HBF_4 2,5% menghasilkan larutan hijau yang lebih terang dibanding dengan konsentrasi yang lebih tinggi, maka konsentrasi HBF_4 2,5% lebih dipilih untuk digunakan dalam pelarutan logam U karena pada konsentrasi ini logam U terlarut relatif baik ditandai dengan larutan berwarna hijau terang. Selain itu juga dengan pertimbangan bahwa harga katalis HBF_4 mahal, maka sedapat mungkin penggunaannya harus diminimalkan.

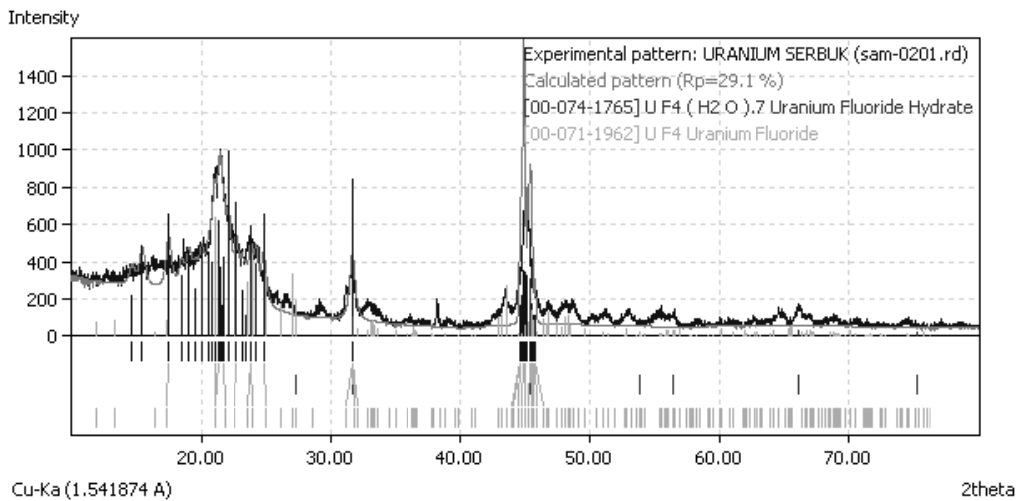
Selanjutnya pelarutan logam U dilakukan menurut variasi waktu. Hasil pelarutan logam U pada variasi waktu ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Variasi waktu dalam pelarutan logam U.

Suhu (°C)	Waktu (menit)	Persentase U terlarut (%)	Keterangan
50	30	6,62	Larutan hijau, suhu antara 50 – 51 °C
	60	15,72	Larutan hijau, suhu antara 50 – 51 °C
	90	21,46	Larutan hijau pekat dan ada endapan
	120	100	Larutan hitam dan ada endapan

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa waktu pelarutan 120 menit memberikan hasil uranium terlarut maksimal yaitu 100%, namun larutan menjadi hitam dan terjadi endapan, di mana kondisi ini tidak diinginkan seperti telah dijelaskan di depan. Bahkan untuk waktu pelarutan 90 menit juga memberikan hasil larutan hijau pekat dan terjadi endapan. Oleh karena itu, pelarutan di atas 120 menit tidak dilakukan, dan waktu pelarutan 60 menit dipilih sebagai waktu pelarutan yang relatif baik.

Dengan demikian dapat diketahui bahwa kondisi hasil pelarutan yang relatif baik diperoleh pada konsentrasi HCl 10%, HBF_4 2,5%, suhu 50 °C, dan waktu 60 menit. Selanjutnya hasil pelarutan pada kondisi tersebut ditambah dengan larutan HF 40% berlebihan dan diaduk selama 60 menit tanpa pemanasan membentuk endapan hijau terang. Endapan ini didekantir dan dianalisis menggunakan alat difraksi sinar-X (*X-Ray Diffraction/XRD*) untuk menentukan kandungan senyawa yang terbentuk dari pola difraksi sinar-X yang dihasilkan. Pola difraksi sinar-X dari endapan ditampilkan dalam Gambar 3 dan data hasil analisis dengan XRD pada Tabel 2.

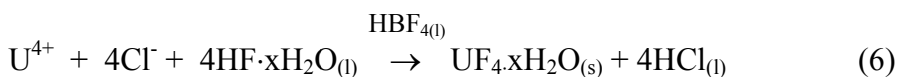


Gambar 3. Pola difraksi sinar-X dari endapan UF₄.

Tabel 2. Hasil analisis serbuk UF₄ menggunakan XRD.

No	Fase	Formula	Fraksi (%)
1	Uranium fluorida heptahidrat	UF ₄ ·7H ₂ O	24,95
2	Uranium fluorida	UF ₄	75,05
Total			100

Dari Gambar 3 tampak bahwa analisis menunjukkan bahwa sampel tersebut adalah serbuk UF₄, sedangkan kemungkinan adanya senyawa lain tidak terdeteksi. Hal ini karena pada proses pengendapan hasil pelarutan dilakukan penambahan larutan HF 40% secara berlebihan ($\pm 100\%$) agar reaksi ditekan untuk berjalan ke kanan (tidak bolak-balik), sehingga diharapkan diperoleh hasil yang optimum. Namun, sampel yang dianalisis ternyata masih mengandung air sehingga bentuknya menjadi uranium fluorida heptahidrat (UF₄·7H₂O), Hal ini menandakan bahwa pembuatan serbuk UF₄ secara basah dapat menghasilkan uranium fluorida heptahidrat. Karena endapan UF₄ hanya dikeringkan dengan cara didekantir dan dipanaskan menggunakan *hot plate* dalam wadah Teflon, maka proses pengeringan menjadi kurang sempurna. Adanya air (H₂O) dapat dilihat menurut persamaan reaksi (6):



Oleh karena itu, agar diperoleh hasil yang lebih baik dari pengembangan metode ini, maka penggunaan larutan HF diminimalkan, atau mengganti dengan gas HF agar pengaruh H₂O sesedikit mungkin. Juga demi alasan ekonomis katalis dan untuk mengurangi larutan sisa (filtrat) yang dihasilkan dari proses pengendapan, keasaman larutan sisa perlu dianalisis agar larutan sisa dapat didaur ulang (digunakan kembali pada proses pelarutan).

V. KESIMPULAN

Uranium tetrafluorida (UF₄) dapat diperoleh dengan cara melarutkan logam uranium di dalam larutan HCl yang diberi katalis HBF₄ dan dihidrofluorinasi cara basah dengan menambahkan larutan asam fluorida. Metode ini dapat digunakan untuk mengolah logam uranium tanpa memerlukan waktu yang lama dan tanpa menghasilkan deposit. Kondisi pelarutan yang dapat melarutkan logam U dengan relatif baik adalah konsentrasi HCl 10%, katalis HBF₄ 2,5%, suhu 50 °C dan waktu pelarutan 60 menit. Hasil pengendapan diperoleh serbuk UF₄, walaupun masih mengandung UF₄·7H₂O karena proses pengendapan dikerjakan secara basah dan proses pengeringan yang kurang sempurna. Pada kondisi relatif baik tersebut pelarutan logam uranium yang diperoleh sebesar 15,72% dan pada proses pengendapan diperoleh fraksi UF₄ sebesar 75,05% dan fraksi UF₄·7H₂O sebesar 24,95%.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. Benedict, M., & Pigford, T.H. (1981). Nuclear Chemical Engineering. (pp.129-158). New York, NY: McGraw-Hill Book Company, Inc.
2. Kadarjono, A., Widodo, G., & Yatno, D.A.S. (2010). Pembuatan Serbuk Uranium Tetrafluorida dari Logam Uranium menggunakan Katalis Asam Fluoroborat. *Urania: Buletin Triwulan Daur Bahan Bakar Nuklir*, 16(2).
3. Pollock, E.N. (1989). Method for Producing Green Salt (UF₄) from Uranium and Uranium Alloy Pieces. United States: Nuclear Metals Inc. United States Patent: 4.837.375.
4. Pollock, E.N. (1987). Method and Apparatus for Producing Green Salt (UF₄) from Uranium and Uranium Alloy Pieces. Nuclear Metals Inc., United States. United States Patent: 4,699,769.
5. Fluoroboric Acid. URL http://xjh_4761475.en.chemnet.com/suppliers/product/1439969/my/Fluoroboric-acid.html.
6. Uranium Tetrafluoride. URL http://en.wikipedia.org/wiki/Uranium_tetrafluoride.

7. Putro, P.K. (1996). Penentuan Kadar U dan Unsur Pengotor dalam Uranium Tetrafluorida secara Potensiometri dan Spektrofotometri Serapan Atom. Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir II, PEBN-BATAN, Jakarta.
8. Eccless, H., & Fell, S.A. (1987). Producing of Uranium Tetrafluoride. British Nuclear Fuels Plc, England. United States Patent: 4,693,795.
9. Wahyono, H., & Widodo, G. (2000). Proses Produksi UF₄ dari Berbagai Aneka Bahan Dasar. *Urania*, 23-24 (VI), 7-12.
10. Asminar. (2007). Analisis Unsur-unsur Pengotor dalam Uranium Logam secara Spektrofotometri Serapan Atom. Hasil-hasil Penelitian EBN, PTBN-BATAN, Jakarta.
11. Ngatijo, Pranjono, Windaryati, L.M.M., & Galuh, B.S. (2007). Analisis Kadar Uranium dalam U₃O₈ dari Kalsinasi Sodium Diuranat (Na₂U₂O₇) Hasil Ekstraksi Limbah Cair Menggunakan D₂EHPA. Prosiding Seminar Pengolahan Perangkat Nuklir, Serpong, PTBN-BATAN.